

Trabajo Fin de Grado

Análisis de viabilidad de instalación solar
fotovoltaica para comunidad de vecinos.

Viability analysis of a photovoltaic solar
installation for a neighborhood community

Autor/es

Ariel Gargallo Cebolla

Director/es

José Francisco Sanz Osorio

Escuela de Ingeniería y Arquitectura
Año 2021

RESUMEN

Una de las novedades introducidas en real decreto 244/2019 fue el reconocimiento del autoconsumo colectivo, estableciendo la normativa y las modalidades a las que puede acogerse. Las novedades introducidas en esta ley plantean un escenario favorable para el autoconsumo en España.

En este trabajo se realiza un análisis de viabilidad técnico y económico de una instalación solar fotovoltaica de autoconsumo colectivo para una comunidad de vecinos, con la finalidad de estudiar si es económicamente rentable estudiando diferentes modalidades de autoconsumo colectivo.

Conocida la demanda energética de la comunidad de vecinos, se ha realizado un estudio del recurso solar disponible en la ubicación del proyecto. Para ello, se han obtenido los datos de radiación solar a través de la herramienta digital PVGIS.

Para cada escenario planteado, se ha dimensionado la instalación solar fotovoltaica y se ha calculado la energía solar producida por la instalación. La comparativa entre el consumo y la producción se ha realizado a nivel horario, de esta forma se ha podido medir que proporción de la demanda puede ser suplida con la generada por la instalación, y si dado el caso, se han producido excedentes energéticos, de los cuales se puede obtener un beneficio económico.

Para decidir qué escenario es el más favorable desde el punto de vista económico, se ha analizado la rentabilidad económica de los proyectos, mediante la comparación de costes entre los distintos escenarios, y el ahorro anual que conlleva.

ABSTRACT

One of the novelties produced in the Royal Decree 244/2019 was the recognition of the collective self-consumption, establishing the regulations and the modalities to which it can be used. The novelties introduced in this law pose a favourable scenario for self-consumption.

In this project, an analysis of the technical and economic viability of a photovoltaic solar installation for collective self-consumption for a community of neighbours is carried out, in order to study whether it is economically profitable by studying different modalities of collective self-consumption.

Once the energy demand of the neighborhood community is known, a study of the solar resource available at the project location has been carried out. For this, the solar radiation data have been obtained through the PVGIS digital tool.

For each proposed scenario, the photovoltaic solar installation has been dimensioned and the solar energy produced by the installation has been calculated. The comparison between consumption and production has been carried out at the hourly level, in this way it has been possible to measure what proportion of the demand can be supplied with that generated by the installation, and if necessary, there have been energy surpluses, of which can be obtained financially.

To decide which scenario is the most favourable from the economic point of view, the economic profitability of the projects has been analysed, by comparing costs between the different scenarios, and the annual savings that it entails.

ÍNDICE

RESUMEN	3
ABSTRACT	4
ÍNDICE.....	5
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	7
ÍNDICE DE TABLAS	8
1. INTRODUCCIÓN.....	10
2. ANTECEDENTES:	10
2.1 Energías renovables	10
2.2 Energía solar fotovoltaica.	12
2.2.1 Tipos de instalación solar fotovoltaica.	13
2.2.2 Autoconsumo colectivo.	15
2.2.3 Elementos de una instalación solar fotovoltaica.....	16
2.2.4 Ventajas y desventajas de la energía solar fotovoltaica	21
2.3 Efecto fotoeléctrico y efecto fotovoltaico.....	22
2.4 Situación actual de las energías renovables en España.....	24
3 NORMATIVA APLICABLE.....	27
4 UBICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DEL EMPLAZAMIENTO	28
5 ORIENTACIÓN E INCLINACIÓN DE LOS PANELES	28
6 DEMANDA ENERGÉTICA.....	30
6.1 Reparto de la energía.	30
7 DATOS CLIMATOLÓGICOS. RECURSO SOLAR.....	31
8 DISEÑO DE LA INSTALACIÓN	33
8.1 Caso 1: Instalación de autoconsumo con excedentes.	33
8.1.1 Selección de los paneles.	33
8.1.2 Cálculo del número de paneles y de la potencia instalada.	35
8.1.3 Cálculo de la energía producida.	36
8.1.4 Elección del inversor.	38
8.1.5 Consumo horario.	41
8.1.6 Cálculo de excedentes.	41
8.1.7 Inversión inicial.	43
8.1.8 Cálculo de costes y ahorro anual	45
8.1.9 Amortización de la instalación.	48
8.1.10 Rentabilidad económica. Cálculo del VAN y del TIR.	49
8.2 Caso 2: Instalación de autoconsumo sin excedentes.	51

8.2.1	Instalación de potencia nominal de 20 kW.....	51
8.2.2	Instalación de potencia nominal de 60 kW.....	56
8.2.3	Instalación de potencia nominal de 105 kW.....	59
8.2.4	Calculo de la rentabilidad económica. Comparación de resultados.	60
9	CONCLUSIONES Y LÍNEAS DE TRABAJO FUTURAS:	63
10	BIBLIOGRAFÍA	65
	Anexo I. Radiación solar media horaria en función del mes y la orientación.	70
	Anexo II. Producción de energía eléctrica en el mes de enero para el grupo de viviendas con un azimut de -57°	82
	Anexo III. Ficha técnica del inversor del caso 1.	83
	Anexo IV. Energía solar producida, demanda, excedentes y consumo de la red por vivienda y mes.	84
	Anexo V. Costes de la demanda y ahorro por mes para cada vivienda.....	90
	Anexo VI. Cálculo del VAN con instalación de autoconsumo con excedentes no acogida a compensación.	95
	Anexo VII. Ficha técnica del inversor del caso 2.....	106

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Tipos de instalaciones fotovoltaicas. Fuente: Elaboración propia	13
Ilustración 2. Esquema de una instalación aislada. Fuente: Cenitsolar	14
Ilustración 3. Esquema de instalación conectada a red. Fuente: Cenitsolar	15
Ilustración 4. Instalación fotovoltaica híbrida eólico-solar. Fuente: balner.es	15
Ilustración 5. Diferencias entre los paneles según la tecnología de fabricación [15].	18
Ilustración 6. Curva I-V y potencia de un módulo. Fuente: Autosolar.es	19
Ilustración 7. Efecto fotoeléctrico. Fuente: helioesfera.com	23
Ilustración 8. Esquema de funcionamiento de una célula solar. Fuente: distefanoingenieria.com.....	23
Ilustración 9. Evolución de la potencia Solar Fovovoltaica Acumulada (MW). Fuente: REE y UNEF	24
Ilustración 10. Potencia Solar Fovovoltaica Instalada Anualmente en España. Fuente: REE y UNEF	25
Ilustración 11. Evolución de la generación eléctrica renovable (GWh). Fuente: REE ..	25
Ilustración 12. Cobertura de la demanda eléctrica peninsular. Fuente: REE	26
Ilustración 13. Potencia eléctrica instalada peninsular. Fuente: REE	26
Ilustración 14. Vista aérea de la comunidad de vecinos. Fuente: Google Earth.	28
Ilustración 15. Fachadas seleccionadas para la instalación de los paneles. Fuente: Elaboración propia.....	29
Ilustración 16. Ejemplo de introducción de datos en PVGIS.....	32
Ilustración 17. Reparto de energía en instalación colectiva. Fuente: factorenergia.com	33
Ilustración 18. Panel solar A450M OPTIMUM GS de 450W de Atersa. [35]	34
Ilustración 19. Características eléctricas de los paneles solares [35].	35
Ilustración 20. Disposición de los paneles solares. Fuente: Elaboración propia.....	35
Ilustración 21. Esquema de la instalación de autoconsumo colectivo con excedentes. Fuente: Elaboración propia.....	39
Ilustración 22. Comparación de costes anuales por vivienda del caso 1. Fuente: Elaboración propia.....	48
Ilustración 23. Consumo vs Producción mensual en la instalación de 20 kW. Fuente: Elaboración propia.....	54
Ilustración 24. Comparación de costes anuales por vivienda para la instalación de 20 kW. Fuente: Elaboración propia.....	56
Ilustración 25. Comparación de costes anuales por vivienda para la instalación de 60 kW. Fuente: Elaboración propia.....	59
Ilustración 26. Comparación del VAN para las instalaciones sin excedentes. Fuente: Elaboración propia.....	62
Ilustración 27. Comparación del VAN entre casos. Fuente: Elaboración propia.	63

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Aplicaciones de la energía solar fotovoltaica. Fuente: Instalaciones solares fotovoltaicas, J. Roldán Vilorio, 2010, Paraninfo.....	13
Tabla 2. Inclinação óptima para cada grupo de casas en función del azimut. Fuente: Elaboración propia.....	29
Tabla 3. Consumos mensuales del conjunto de las viviendas. Fuente: Elaboración propia.....	30
Tabla 4. Coeficientes de reparto de energía. Fuente: Elaboración propia.....	31
Tabla 5. Radiación, consumo y coeficiente radiación/consumo. Fuente: Elaboración propia.....	33
Tabla 6. Características de los diferentes modelos de paneles solares. Fuente: Elaboración propia.....	34
Tabla 7. Número de paneles instalados y de potencia por cada grupo de viviendas. Fuente: Elaboración propia.....	36
Tabla 8. Energía mensual producida por los paneles. Fuente: Elaboración propia.....	37
Tabla 9. Comparación de la producción y demanda mensual de energía eléctrica. Fuente: Elaboración Propia.	38
Tabla 10. Curva de demanda mensual frente a curva de producción mensual. Fuente: Elaboración propia.....	38
Tabla 11. Características de los modelos de inversor. Fuente: Elaboración propia.	39
Tabla 12. Consumo de la red y excedentes energéticos anuales por vivienda. Fuente: Elaboración propia.....	43
Tabla 13. Inversión inicial correspondiente para cada vivienda. Fuente: Elaboración propia.....	44
Tabla 14. Coste y ahorro anual por vivienda del caso 1. Fuente: Elaboración propia. ...	47
Tabla 15. Amortización de la inversión inicial del caso 1 Fuente: Elaboración propia.	49
Tabla 16. VAN y TIR por vivienda del caso 1. Fuente: Elaboración propia.	51
Tabla 17. Características de los inversores. Fuente: Elaboración propia.....	52
Tabla 18. Inversión inicial por vecino del caso 2. Fuente: Elaboración propia.	54
Tabla 19. Coste y ahorro anual por vivienda en instalación de 20 kW. Fuente: Elaboración propia.....	55
Tabla 20. Inversión inicial por vivienda para la instalación de 60 kW. Fuente: Elaboración propia.....	58
Tabla 21. Coste y ahorro anual por vivienda en instalación de 60 kW. Fuente: Elaboración propia.....	59
Tabla 22. Coste y ahorro anual por vivienda en instalación de 105 kW. Fuente: Elaboración propia.....	60
Tabla 23. Comparación del VAN en las instalaciones de autoconsumo sin excedentes. Fuente: Elaboración propia.....	60
Tabla 24. Comparación del TIR en las instalaciones de autoconsumo sin excedentes. Fuente: Elaboración propia.....	61
Tabla 25. Amortización de la inversión inicial para la instalación de 105kW. Fuente: Elaboración propia.....	63

1. INTRODUCCIÓN

Este trabajo tiene como objeto el estudio de viabilidad técnica y económica de una instalación solar fotovoltaica para autoconsumo para una comunidad de vecinos ubicada en la localidad de María de Huerva. Se estudiarán dos modalidades de autoconsumo diferentes, considerando una instalación de autoconsumo colectivo con excedentes no acogida compensación y una instalación de autoconsumo colectivo sin excedentes.

Para cada modalidad de autoconsumo se llevará a cabo el dimensionamiento de la instalación teniendo en cuenta las condiciones climatológicas y físicas del entorno. Se seleccionará para cada caso de estudio los elementos principales de la instalación de autoconsumo.

Se analizará el impacto que produce el autoconsumo en el coste anual de la energía eléctrica de la comunidad de vecinos, obteniendo el ahorro económico anual derivado de la instalación fotovoltaica y en su caso, el de los ingresos provenientes de la venta de excedentes energéticos.

Se realizará un estudio comparativo de la rentabilidad económica de los diferentes casos de estudio mediante el estudio del Valor Actual Neto (VAN) y el periodo de amortización de la inversión inicial en cada caso gracias al ahorro en el consumo energético.

2. ANTECEDENTES:

2.1 Energías renovables

Las fuentes de energías renovables son aquellas que provienen de recursos naturales (el agua, el sol, el viento o la biomasa) mediante las cuales se pueden producir electricidad, combustible, gas y calor.

Son fuentes de energía limpia, inagotables y crecientemente competitivas. La diferencia entre estas fuentes de energía y los combustibles son su diversidad, abundancia y potencial de aprovechamiento, que no producen gases de efecto invernadero ni emisiones contaminantes [1]. Por ello, son imprescindibles para el desarrollo del sistema energético sin poner en riesgo el de futuras generaciones.

Por su carácter autóctono ayudan a disminuir la dependencia de nuestro país con el exterior y favorecen el desarrollo de nuevas tecnologías y de la creación de empleo local [2].

Existen diferentes tipos de energías renovables: la energía solar, la energía eólica, la energía hidroeléctrica, la energía geotérmica y la biomasa.

- **Energía solar:** es la energía que se obtiene a partir de la radiación electromagnética del Sol. Se capta a través de células fotoeléctricas, heliostatos o colectores solares, que la transforman en energía solar térmica o energía solar

fotovoltaica. También puede aprovecharse de forma pasiva con técnicas de arquitectura bioclimática y sostenible [3].

- **Energía solar térmica:** aprovecha el calor de la radiación solar y la convierte en energía térmica para calentar un fluido que se puede utilizar como calefacción o agua caliente. También se puede generar electricidad, ya que el calor puede usarse para calentar agua, producir vapor y activar turbinas.
 - **Energía solar fotovoltaica:** es la que permite transformar la radiación del sol en electricidad a través de células fotovoltaicas, gracias al efecto fotovoltaico.
 - **Energía solar pasiva:** es aquella que permite aprovechar el calor y la luz solar sin el uso de equipos externos. Son técnicas pasivas como las que propone la arquitectura bioclimática, en la que se tienen en cuenta el diseño, la orientación, los materiales y las condiciones climatológicas al construir una vivienda o un edificio [4].
- **Energía eólica:** es la energía que se obtiene del viento. Se trata de un tipo de energía cinética producida por el efecto de las corrientes de aire. Esta energía se convierte en electricidad a través de un generador eléctrico [5].
 - **Energía hidroeléctrica:** se obtiene del aprovechamiento de las energías cinéticas y potenciales de la corriente del agua, saltos de agua o mareas, ya sea mediante molinos o presas.

Esta electricidad se obtiene en las centrales hidroeléctricas, las cuales embalsan agua de los ríos en presas y esta es liberada de forma controlada, haciendo que mueva una turbina y generando electricidad [6].

Según la potencia instalada las centrales hidroeléctricas se clasifican en:

- Microcentrales hidráulicas: menos de 1 MW de potencia.
 - Minicentrales hidráulicas: entre 1 MW y 10 MW de potencia.
 - Centrales hidroeléctricas de gran potencia: más de 10 MW de potencia.
- **Energía geotérmica:** es la energía derivada del calor almacenado en el interior de la tierra, el cual se produce por la desintegración espontánea, natural y continua de los isótopos radiactivos que existen en pequeña proporción en las rocas naturales. Se transmite por conducción a través de los materiales que forman el subsuelo, hasta la superficie [7].
 - **Biomasa:** es cualquier materia orgánica que provenga de plantas, árboles y desechos animales que pueden ser convertidos en energía. La energía biomasa consiste en la combustión de estos residuos orgánicos de origen animal y vegetal [8].
 - **Biogás:** El biogás es una energía alternativa compuesta, principalmente, por dióxido de carbono y metano generados por la biodegradación de biomasa,

obtenida de la materia orgánica en un ambiente desprovisto de oxígeno. Se obtiene en mayor medida a partir de residuos orgánicos de origen animal o vegetal y, como combustible, tiene aplicaciones que van desde la generación de electricidad o energía térmica hasta carburante de vehículos adaptados para tal uso [9].

2.2 Energía solar fotovoltaica.

La energía solar fotovoltaica consiste en la transformación de la radiación solar en electricidad. Se produce mediante paneles solares, que a su vez están formados por células fotovoltaicas fabricadas con semiconductores (siendo el más habitual el silicio) en los cuales se da lugar el efecto fotovoltaico.

Un aspecto que caracteriza esta tecnología es su modularidad, pudiendo usarse en pequeñas instalaciones para autoconsumo en una vivienda hasta en grandes plantas fotovoltaicas.

Algunas de las aplicaciones de la energía solar fotovoltaica se exponen en la Tabla 1.

<ul style="list-style-type: none"> • Electrificación rural 	<ul style="list-style-type: none"> • Viviendas rurales • Refugios de montaña • Dependencias varias • Alumbrado de zonas varias • Alumbrado de túneles
<ul style="list-style-type: none"> • Usos agrícolas, ganaderos y forestales 	<ul style="list-style-type: none"> • Riegos (bombeo) • Alumbrado de casetas • Alumbrado de establos, granjas, etc. • Ordeñadoras eléctricas • electrificación de cercas • Refrigeración • Sistemas de detección de incendios • Comunicaciones varias
<ul style="list-style-type: none"> • Telecomunicaciones 	<ul style="list-style-type: none"> • Alimentación a repetidores • Alimentación a amplificadores • Alimentación a balizas de señales • Alimentación a equipos de radio • Telecontrol de estaciones meteorológicas
<ul style="list-style-type: none"> • Señalización y control 	<ul style="list-style-type: none"> • Iluminación de vallas publicitarias • Boyas y faros de navegación marítima • Señalización de ferrocarriles • Control de invernaderos • Control de pasos a nivel • Señalización e iluminación de aeropuertos.
<ul style="list-style-type: none"> • Aplicaciones militares 	<ul style="list-style-type: none"> • Cargadores de baterías • radioteléfonos • Generación de electricidad para varios usos
<ul style="list-style-type: none"> • Industria espacial 	<ul style="list-style-type: none"> • Alimentación de satélites y sondas • Comunicación con satélites

<ul style="list-style-type: none"> • Industria 	<ul style="list-style-type: none"> • Generación de energía eléctrica para suministrarla a la red general de baja tensión
<ul style="list-style-type: none"> • Varios 	<ul style="list-style-type: none"> • Alumbrado de zonas donde no llega la red eléctrica • Alimentación de caravanas y tiendas de campaña

Tabla 1. Aplicaciones de la energía solar fotovoltaica. Fuente: *Instalaciones solares fotovoltaicas*, J. Roldán Viloria, 2010, Paraninfo.

2.2.1 Tipos de instalación solar fotovoltaica.



Ilustración 1. Tipos de instalaciones fotovoltaicas. Fuente: *Elaboración propia*

Instalaciones aisladas: en este tipo de instalaciones, la energía eléctrica generada por los paneles solares se consume en el mismo lugar donde se encuentra ubicada, sin conexión eléctrica a la red.

En este tipo de instalaciones es necesario el uso de equipos de almacenamiento, para poder acumular energía en momentos en los que la demanda sea inferior a la producción, para posteriormente poder ser aprovechada en periodos del día sin radiación solar.

Este tipo de instalaciones se usa en lugares sin conexión con la red eléctrica, como en zonas rurales remotas.

Dentro de las instalaciones aisladas podemos tener instalaciones con corriente continua o con corriente alterna.

Algunas de las aplicaciones de este tipo de instalaciones son:

- Electrificación rural (bombeo de agua, cámaras de refrigeración, iluminación)
- Señalización (terrestre, marítima)
- Telecomunicaciones
- Alumbrado público
- Electrificación de viviendas

Los equipos necesarios en una instalación aislada son los módulos solares, el regulador de carga, el inversor y las baterías.

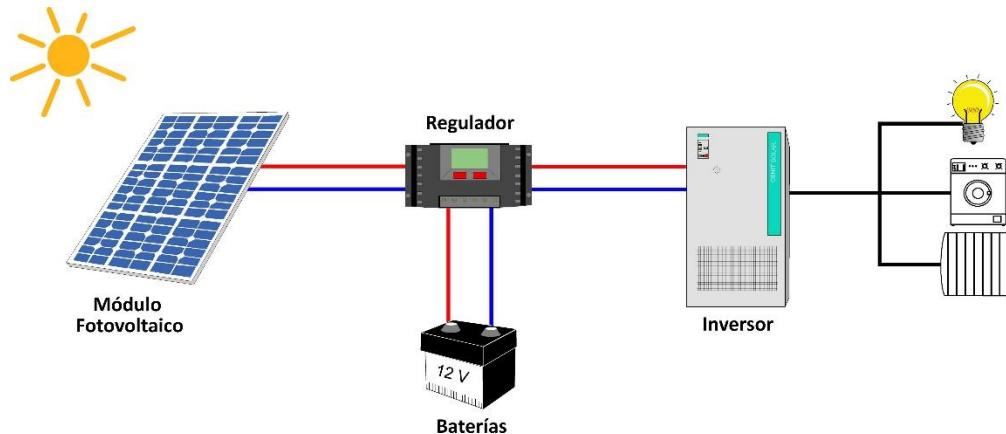


Ilustración 2. Esquema de una instalación aislada. Fuente: Cenitsolar

Instalaciones conectadas a red: Estas instalaciones permanecen conectadas a la red eléctrica. Se consume principalmente la energía eléctrica generada con los paneles solares, pero en los periodos en los que el consumo es superior a la generación, se absorbe de la red eléctrica. Dependiendo de la gestión de los excedentes de energía generada y no consumida diferenciamos tres tipos de instalaciones.

- **Instalación fotovoltaica de autoconsumo sin excedentes:** en este tipo de instalaciones no se inyecta corriente a la red, pero sí puede tomarse de ella cuando se necesite. Con este tipo de instalaciones no se aprovechan esos excedentes de ninguna forma, suelen realizarse cuando la legislación vigente no permite la inyección de energía eléctrica a la red.
- **Instalación fotovoltaica de autoconsumo con compensación:** En este tipo de instalaciones se rentabilizan económicamente los excedentes de energía generada en los que la demanda es inferior a la generación. Estos excedentes se inyectan a la red eléctrica y se ofrece una compensación por esta inyección de energía. Esta compensación puede darse en tres variantes:
 - **Balance neto:** el usuario puede consumir sin coste un kWh de la red por cada kWh vertido a la red.
 - **Venta a la red:** se recibe una cantidad económica fija por cada kWh vertido.
 - **Tarifa neta:** se descuenta de la factura eléctrica una cantidad de dinero por cada kWh vertido a la red [10].
- **Instalación fotovoltaica de autoconsumo con acumulación:** en este tipo de instalaciones, el excedente de energía eléctrica no consumida se almacena en baterías, que permiten hacer uso de esta energía cuando no hay radiación solar. En este tipo de instalaciones, al estar conectados a la red eléctrica, se puede

absorber energía de la red cuando se consume toda la energía acumulada en las baterías. Este tipo de instalación permite hacer uso de toda la energía generada, pero hay que tener en cuenta que el valor de la inversión se incrementa notablemente con el uso de las baterías.

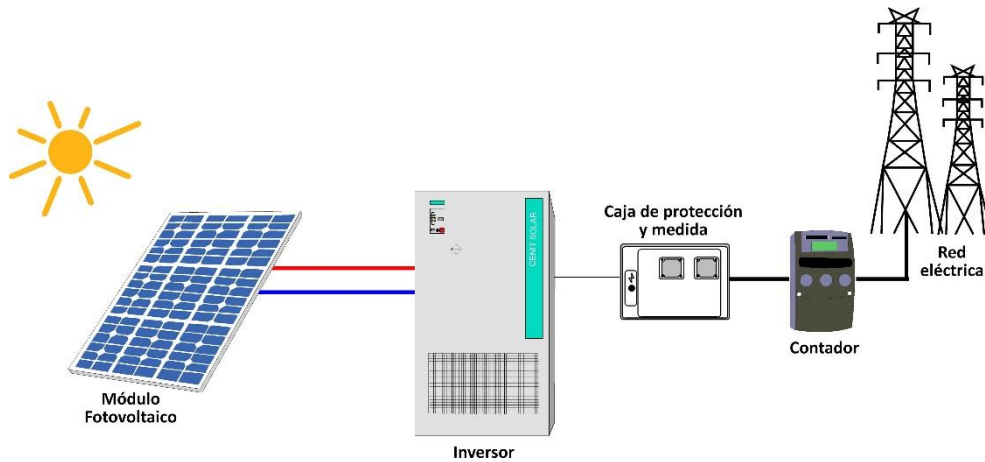


Ilustración 3. Esquema de instalación conectada a red. Fuente: Cenitsolar

Instalaciones híbridas: En estas instalaciones se hace uso de otra fuente de energía externa a los paneles solares, por lo que hay dos fuentes de energía, como podrían ser el diésel o energía eólica. De esta forma se aumenta la seguridad de suministro con fuentes de energía renovables y se reducen las necesidades de acumulación.

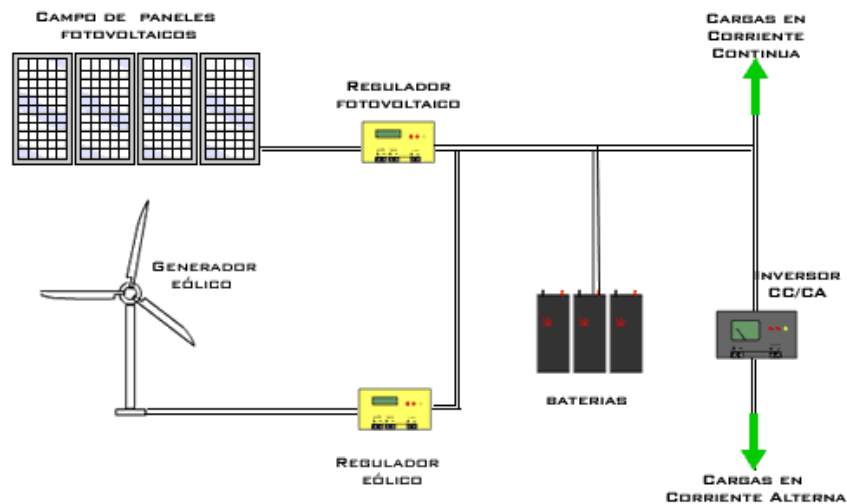


Ilustración 4. Instalación fotovoltaica híbrida eólico-solar. Fuente: balner.es

2.2.2 Autoconsumo colectivo.

El autoconsumo compartido es una modalidad de autoconsumo en la que se comparte y autoconsumo por más de un usuario. Según el Real Decreto 244/2019 puede acogerse a cualquiera de las modalidades que se contemplan para el autoconsumo individual siendo:

- Autoconsumo compartido sin excedentes: no se conectan a la red general, por lo que no se inyectan excedentes gracias a un sistema de antivertido.
- Autoconsumo compartido con excedentes no acogida a compensación: los excedentes energéticos se inyectan a la red obteniendo un beneficio económico por ello.
- Autoconsumo compartido con excedentes acogido a compensación: se realiza un descuento de la factura económica al final de cada periodo. Esta modalidad de consumo solo se puede dar en instalaciones de una potencia inferior a los 100 kW.

Para que varios consumidores puedan acogerse a esta modalidad de autoconsumo deben cumplir una serie de requisitos:

- Los consumidores deben estar conectados al mismo centro de transformación y la distribución de energía debe ser de baja tensión.
- La distancia entre la instalación y los consumidores debe ser como máximo de 500 metros.
- La instalación y los participantes deben estar registrados en el mismo catastro.

El autoconsumo compartido es una modalidad muy interesante ya que de esta forma se dispone de una mayor superficie de captación solar, el desembolso inicial de la instalación se reparte entre los consumidores, y la amortización de esta se da en un periodo de tiempo corto [11].

Existen dos modalidades de conexión:

- Conexión a red eléctrica: se conecta a la red de distribución de baja tensión y se usan contadores bidireccionales para contabilizar la producción y consumo.
- Conexión a directa a la red interior: el sistema se conecta a la red interior de los auto consumidores asociados mediante líneas directas [12].

Al beneficiarse todos los participantes de la instalación fotovoltaica, debe realizarse un reparto de la energía producida. Esto se lleva a cabo mediante un acuerdo firmado por todos los participantes que se remitirá a la compañía distribuidora. Estos coeficientes de reparto pueden realizarse en base a cualquier criterio establecido entre los propietarios, con la condición de que estos coeficientes sean fijos cuya suma sea 1.

2.2.3 Elementos de una instalación solar fotovoltaica

A continuación, se van a describir los componentes necesarios para el correcto funcionamiento de una instalación solar fotovoltaica.

- **Estructura para los paneles:** son componentes pasivos que hacen de soporte para los paneles solares, fijan la posición de estos, los mantienen estables y les dan la orientación e inclinación deseadas. Deben soportar las condiciones climatológicas del exterior evitando que cualquier movimiento pueda modificar la posición de los paneles. Podemos encontrar diferentes tipos de soportes:

- Soportes fijos: aportan una orientación e inclinación fijas, por lo que deben instalarse de manera que se optimice la captación de radiación solar. Pueden ser ubicados en el suelo o en cubiertas.
 - Soportes móviles: Están formados por ejes móviles que permiten un seguimiento con el movimiento del sol, por lo que se consigue una mayor captación de energía. Los seguidores de un solo eje modifican la inclinación del panel sin modificar el azimut, o de forma contraria. Los de dos ejes permiten un cambio e inclinación y de orientación. Son más costosos y necesitan alimentación, pero se consigue un funcionamiento más provechoso.[13], [14]
- **Módulos fotovoltaicos:** son los encargados de la conversión de la energía solar en energía eléctrica. Los módulos están compuestos por un conjunto de células conectadas eléctricamente, encapsuladas sobre un soporte. Las células solares convierten en electricidad los fotones incidentes que provienen de la luz solar, su funcionamiento está basado en el efecto foto fotovoltaico. La potencia generada por las células es muy pequeña (entre 2 y 2,5 W), por lo que es necesario asociar varias para obtener la potencia necesaria. La conexión eléctrica puede ser:
 - En serie: aumenta la tensión en los extremos de salida de la célula equivalente.
 - En paralelo: aumenta la intensidad de salida del conjunto. [15]

Podemos encontrar en el mercado diferentes tipos de paneles solares en función e la tecnología de fabricación, siendo el material usado más frecuente en silicio.

- Silicio monocristalino: las células están formadas por un único tipo de cristal de silicio, teniendo una alineación perfecta de los componentes del cristal. Las células de silicio monocristalino presentan una eficiencia entre el 15 y 24%.
- Silicio policristalino: a diferencia del anterior, no se controla el crecimiento el cristal, crece en todas direcciones. Estas son más asequibles que las monocristalinas, pero tienen una eficiencia menor, entre 12 y 20%.
- Capa fina: se deposita varias capas del material semiconductor en una base. La cantidad de material semiconductor es inferior a lo anteriores, lo que reduce los costes, pero con una eficiencia menor, entre un 10 y 16 %.

Pueden estar formadas por distintos materiales como pueden ser el silicio amorfo, telurio de cadmio o arseniuro de galio [16].




Célula	Silicio	Rendimiento laboratorio	Rendimiento directo	Características	Fabricación
	Monocrystalino	24 %	15-18 %	Son típicos los azules homogéneos. Sus cantos son redondeados, debido al proceso de fabricación.	Se obtiene de silicio puro fundido y dopado con boro.
	Policristalino	19-20 %	12-14 %	La superficie está estructurada en cristales y contiene distintos tonos de azul.	Igual que el del monocrystalino, pero se disminuye el número de fases de cristalización.
	Amorfo	16 %	< 10 %	Tiene un color homogéneo (marrón), pero no existe conexión visible entre las células.	Tiene la ventaja de ser semiflexible, y poder depositarse en forma de lámina delgada y sobre un sustrato, como vidrio o plástico.

Ilustración 5. Diferencias entre los paneles según la tecnología de fabricación [15].

Para definir las características técnicas de los módulos se establecen unas condiciones ambientales únicas comunes para los fabricantes para poder comparar los módulos. Estas son las “Standard Test Condition”:

- Irradiancia solar: 1.000 W/m^2
- Temperatura de las células: 25°C
- Distribución espectral: AM 1,5

Características eléctricas de los módulos fotovoltaicos:

- Intensidad de cortocircuito (I_{sc}): máxima intensidad que puede entregar, que se da en condiciones de cortocircuito.
- Tensión de circuito abierto (V_{oc}): máxima tensión que puede entregar. Se da con una intensidad de trabajo nula, cuando no hay ninguna carga conectada.
- Intensidad de punto de potencia máxima (I_{mpp}): la corriente que se genera cuando el módulo entrega la potencia máxima posible.
- Tensión del punto de potencia máxima (V_{mpp}): la tensión que se genera cuando el módulo entrega la potencia máxima posible.

Los fabricantes ofrecen las curvas I-V de los módulos, que representan los puntos de trabajo que se pueden dar en el módulo, dependiendo de la tensión e intensidad.

El punto de potencia máxima es definido por la combinación de tensión e intensidad en las que se entrega la potencia máxima posible [17].

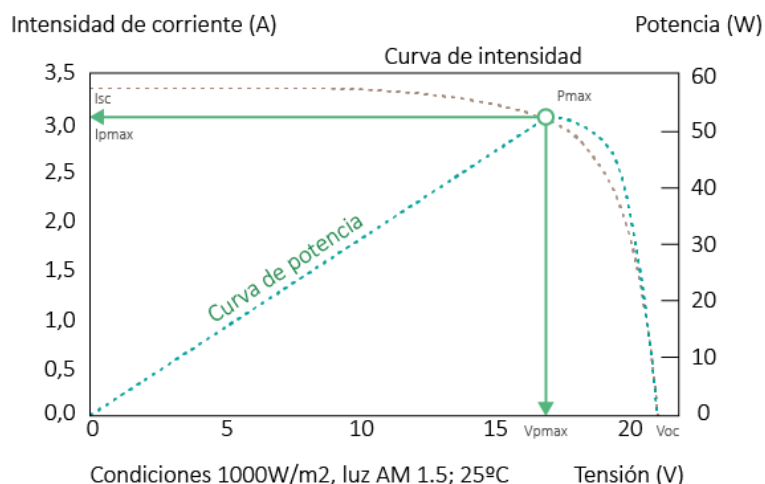


Ilustración 6. Curva I-V y potencia de un módulo. Fuente: Autosolar.es

- **Regulador de carga:** su función es producir el correcto acoplamiento entre los módulos solares, la batería y la carga. Controlan la carga y descarga de las baterías, evitando problemas y aumentando la vida útil de estas, evitando que el sistema se sobrecargue o sobre descargue. Las principales funciones de estos componentes son:
 - Dirigir la corriente desde los módulos hasta las cargas conectadas cuando la demanda se produce en el mismo periodo de radiación solar.
 - Dirigir la corriente desde los módulos hasta las baterías cuando se produzcan excedentes energéticos.
 - Evitar daños en los cables y cortocircuitos.
 - Impedir la inyección de energía desde la batería hacia los módulos en periodos sin radiación solar.
 - Proteger las baterías de sobrecargas y descarga profunda. [18]
- **Inversor:** es el dispositivo encargado de acondicionar la potencia, adecuando la energía generada a la tensión y frecuencia deseadas. Convierten la corriente continua en alterna, en las mismas condiciones que las de la red eléctrica (230 V y 50 Hz). La elección del inversor depende de la aplicación a la que este destinado, si es para un sistema aislado.
 - Inversores para instalación aislada: convierten la corriente continua en alterna de 220 V para alimentar los consumos de la vivienda. Al no tener conexión con la red es necesario el uso de baterías.
 - Inversores para instalación conectada a la red: están equipados con seguidores del punto de máxima potencia (MPPT), maximizando la

producción de los paneles. Permiten verter los excedentes energéticos a la red. [19]

Los parámetros que hay que tener en cuenta para la selección del inversor son:

- Tensión de entrada
 - Tensión de seguimiento de potencia
 - Tensión de salida.
 - Intensidad máxima
 - Potencia nominal
 - Potencia máxima
 - Eficiencia máxima
 - Distorsión armónica
 - Temperatura de funcionamiento
 - Grado de protección IP [17].
- **Baterías:** tienen como finalidad el almacenamiento de excedentes de energía eléctrica en periodos en los que la generación es mayor al consumo, para posteriormente poder ser aprovechada en periodos sin radiación solar. Es uno de los componentes más importantes en las instalaciones fotovoltaicas ya que garantizan el suministro eléctrico. [18]

Según la composición de la batería encontramos los siguientes tipos:

- Plomo-ácido: son las más empleadas por su precio, pero presentan una menor vida útil.
- Níquel-cadmio: pueden trabajar a descargas muy altas sin dañarse. Tienen un mayor coste que las anteriores pero su vida útil es mayor.
- Gel: son una variante de las primeras. El electrolito en vez de ser líquido es una sustancia gelatinosa, lo que permite que sean herméticas por lo que requieren un bajo mantenimiento.
- Litio: se cargan más rápido y ofrecen mayor densidad energética. No tienen efecto memoria por lo que pueden descargarse al 100% sin que se dañe la batería. Este tipo de baterías no requieren mantenimiento ni emiten gases, por lo que pueden usarse en lugares sin ventilación [17].

Para la elección de la batería es necesario tener en cuenta las siguientes características:

- Capacidad de almacenamiento: es la energía que puede almacenar medida en amperios-hora. Esta depende de la temperatura y el tiempo de descarga. Por ello los fabricantes indican la capacidad en un número específico de horas. [18]

El cálculo del almacenamiento debe ser tal que satisfaga la demanda energética durante el tiempo de autonomía. Se utiliza la siguiente expresión:

$$Q = \frac{D \cdot t}{U \cdot PD}$$

Siendo:

- Q: Capacidad de almacenamiento (Ah).
 - D: Demanda energética diaria (Wh).
 - t: Días de autonomía.
 - U: Tensión nominal de la instalación (V).
 - PD: profundidad de descarga. [17].
-
- Profundidad de descarga: es la cantidad de energía que se extrae de la batería. La profundidad de descarga máxima indica la máxima que puede extraerse sin que se dañe la batería. Este valor está en torno al 50% y 70% [17].
 - Ciclo de vida: es el número estimado de ciclos de duración de la batería. El ciclo de vida promedio es el número de ciclos de duración de una batería antes de que la capacidad disminuya un 80%. El ciclo de vida se acorta con descargas profundas, altas temperaturas y falta de mantenimiento [18].

- **Protecciones:**

- Protección de las personas frente a contactos directos: aislamiento de las partes activas, protección mediante barreras o envolventes, protección mediante obstáculos y empleo de dispositivos de corriente diferencial-residual.
- Protección frente a contactos indirectos: uso de fusibles e interruptores automáticos.
- Toma de tierra: a la que estará conectada el soporte y los marcos metálicos de los módulos.
- Protección frente a sobrecargas, cortocircuitos y sobretensiones: uso de fusibles, magnetotérmicos y varistores [20].

2.2.4 Ventajas y desventajas de la energía solar fotovoltaica

Hay muchas razones por las que es interesante el desarrollo de la energía fotovoltaica. Es por ello el gran crecimiento y evolución que ha experimentado debido a sus indiscutibles ventajas. Algunas de estas son:

- Reducción de la dependencia energética con el exterior. Al no depender de la importación de energía de otros países se reducirá el coste y la inseguridad que esto supone al aumentar la autonomía energética, ya que el suministro eléctrico no se vería perjudicado por las relaciones internacionales o conflictos políticos.
- Es una energía limpia y respetuosa con el medio ambiente. Contribuye a la disminución de emisión de gases efecto invernadero. No emite sustancias contaminantes ni tóxicas.
- El recurso solar es inagotable y disponible en todo el mundo. Se puede generar energía en lugares donde no es posible el suministro a través de comercializadoras.

- Es una tecnología modular. La potencia instalada se puede aumentar con el tiempo según sea necesario.
- La generación de electricidad se produce próxima al consumo. Esto conlleva una reducción de la saturación de las redes eléctricas, una disminución de pérdidas y de coste de las líneas de transporte.
- Conlleva un ahorro económico. Además, no le afectan las fluctuaciones del precio de la luz. El excedente de energía generada se puede comercializar. Si la energía generada es mayor a la demandada se puede vender el excedente.
- Es una tecnología silenciosa, no se produce ningún ruido por lo que es perfecta para zonas urbanas y residenciales.
- El mantenimiento es sencillo, normalmente solo hay que realizar revisiones periódicas.
- El valor de la propiedad aumenta. Se incrementa el valor inmobiliario, por lo que supone una inversión a largo plazo.

Las ventajas que ofrece la energía solar fotovoltaica son numerosas, pero hay que tener en cuenta las desventajas de esta energía.

- La energía solar es una fuente intermitente, ya que depende de las condiciones climatológicas y de la ubicación de la instalación. Solo se produce energía cuando el recurso solar es disponible. Por ello es necesario el uso de sistemas de suministro alternativo o sistemas de almacenamiento durante los periodos de no producción
- La superficie necesaria por cada kWh generado es elevada. Es necesario contar con áreas significativas para los generadores fotovoltaicos.
- Es necesaria una elevada inversión inicial. Esta inversión puede recuperarse ya que los equipos tienen un tiempo de vida largo.
- Baja eficiencia de los paneles solares. El rendimiento es bajo, siendo la eficiencia de las células solares del 20%.

2.3 Efecto fotoeléctrico y efecto fotovoltaico.

El efecto fotoeléctrico es el proceso mediante el cual se liberan electrones de un material debido a la incidencia de una radiación electromagnética.

Si la energía captada por el electrón de valencia es superior a la fuerza de atracción con el núcleo del átomo, este queda libre y viaja a través del material. Cada semiconductor tiene una energía mínima necesaria para romper el enlace que se denomina energía de enlace. Cuando la energía es suficiente se genera un par electrón-hueco. El movimiento de cargas da lugar a una corriente eléctrica [21].

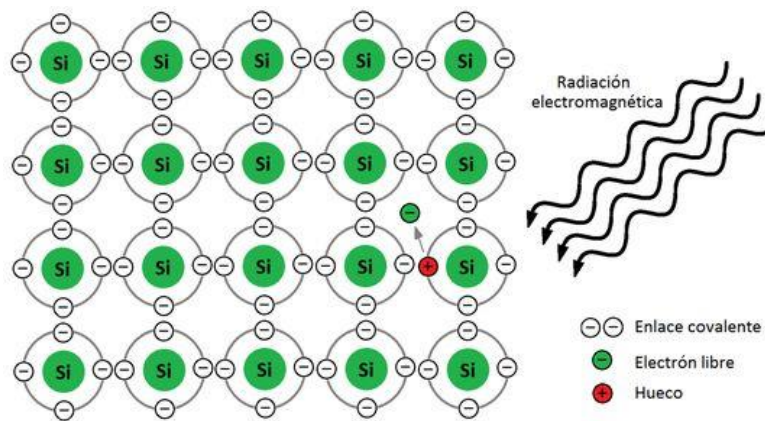


Ilustración 7. Efecto fotoeléctrico. Fuente: helioesfera.com

El efecto fotovoltaico es el proceso por el cual se genera una diferencia de potencial entre dos puntos de un material cuando sobre él incide una radiación electromagnética. El efecto fotoeléctrico forma parte del efecto fotovoltaico [21].

La producción de energía eléctrica se realiza mediante células solares. Estas están constituidas por materiales semiconductores dopados con otras sustancias, dando lugar a una unión p-n.

El semiconductor base más usado es el silicio, que puede ser dopado mediante la adición de otros elementos como el fósforo, boro o antimonio entre otros. De esta forma se consigue tener una capa de semiconductor denominado n (carga negativa) y otra denominada p (carga positiva). De esta forma se consigue tener dos capas de diferente polaridad.

La capa tipo n es la expuesta a la radiación solar. Cuando un fotón con la energía suficiente incide sobre esta, se genera un flujo de huecos hacia la zona positiva y flujo de electrones hacia la negativa, creándose una diferencia de potencial, dando lugar a un flujo de corriente eléctrica de la zona n a la zona p [17].

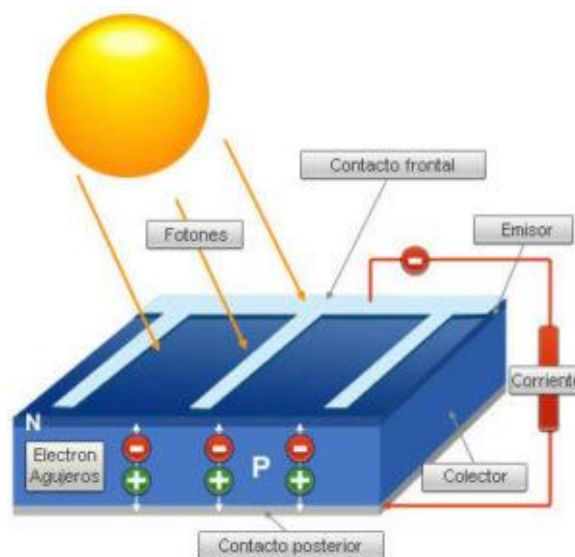


Ilustración 8. Esquema de funcionamiento de una célula solar. Fuente: distefanoingenieria.com

2.4 Situación actual de las energías renovables en España.

Tras la aprobación en octubre de 2018 del RD-Ley 15/2018 que elimina las principales barreras económicas y administrativas del marco anterior (impuesto al sol, barreras técnicas y administrativas, etc.), en abril de 2019 se aprobó el RD 244/2019 que establece el nuevo marco de autoconsumo en España.

El RD 244/2019 clasifica el autoconsumo según sea con o sin excedentes e individual o lectivo y se contempla un mecanismo simplificado de compensación de excedentes generados en las horas de producción en las que la demanda es inferior.

Una novedad introducida es el autoconsumo compartido, en el que los consumidores llegan a un acuerdo de reparto de energía y aparece la figura del propietario-promotor, siendo el caso de que el titular de la instalación de autoconsumo es diferente al propietario de esta [22].

El año 2019 supuso un hito histórico en el sector fotovoltaico en España estableciendo récords debido a la introducción masiva de nueva potencia con la conexión a la red de los proyectos fotovoltaicos ganadores de las subastas de 2017. La entrada en funcionamiento de estos proyectos rompe de manera brusca con el estancamiento del sector. Los datos de 2019 muestran un crecimiento de la potencia instalada, contribuyendo en el mix eléctrico nacional hasta un 3,5%, estableciendo un récord de 9.223 GWh siendo la tercera fuente con mayor peso en el mix renovable [22].

Los datos del operador del sistema, REE, muestran un aumento de 4.201 MW de potencia solar fotovoltaica conectada a red, sin tener en cuenta las instalaciones aisladas y de autoconsumo.

Según estimaciones de UNEF, la potencia de autoconsumo marcó también un récord histórico de 459 MW, gracias al cambio en el marco regulatorio actual de autoconsumo [22].

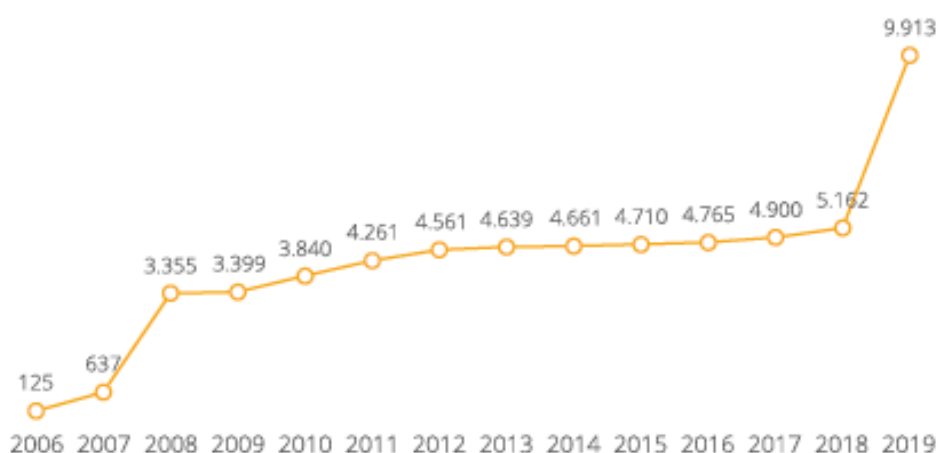


Ilustración 9. Evolución de la potencia Solar Fotovoltaica Acumulada (MW). Fuente: REE y UNEF

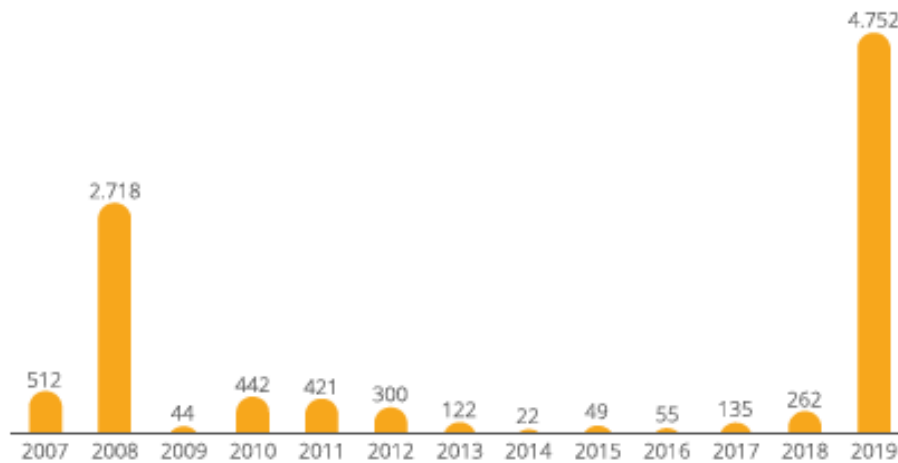


Ilustración 10. Potencia Solar Fotovoltaica Instalada Anualmente en España. Fuente: REE y UNEF

En 2020 continuó esta tendencia, siendo el año con mayor generación de energía renovable, siendo esta de 110.450 GWh, suponiendo un incremento del 12,8% respecto a 2019 [23].

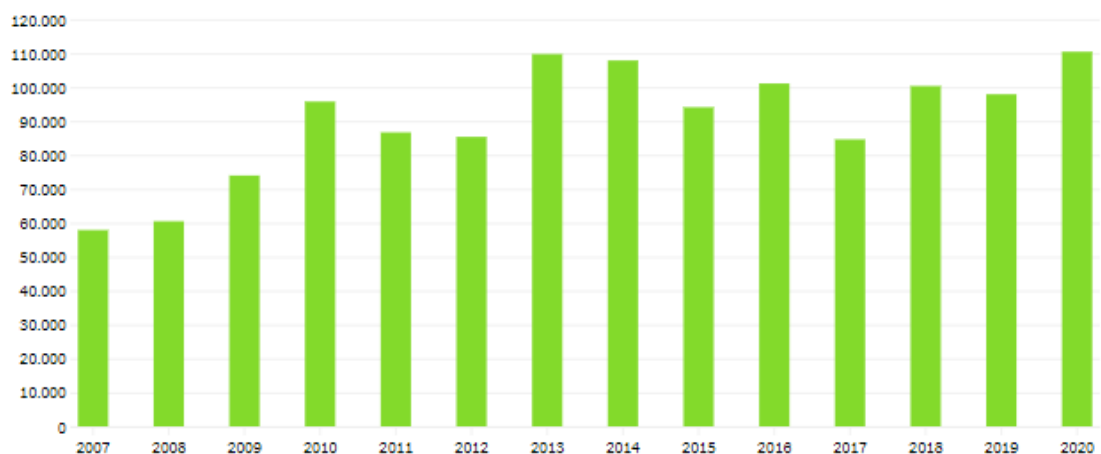


Ilustración 11. Evolución de la generación eléctrica renovable (GWh). Fuente: REE

Dentro de la producción renovable, destaca la producción eólica y la solar fotovoltaica, responsables del 21,9% y 6,1% de la electricidad del país. La potencia solar fotovoltaica es la que más ha incrementado su presencia respecto a 2019 con un 29,5% [23].

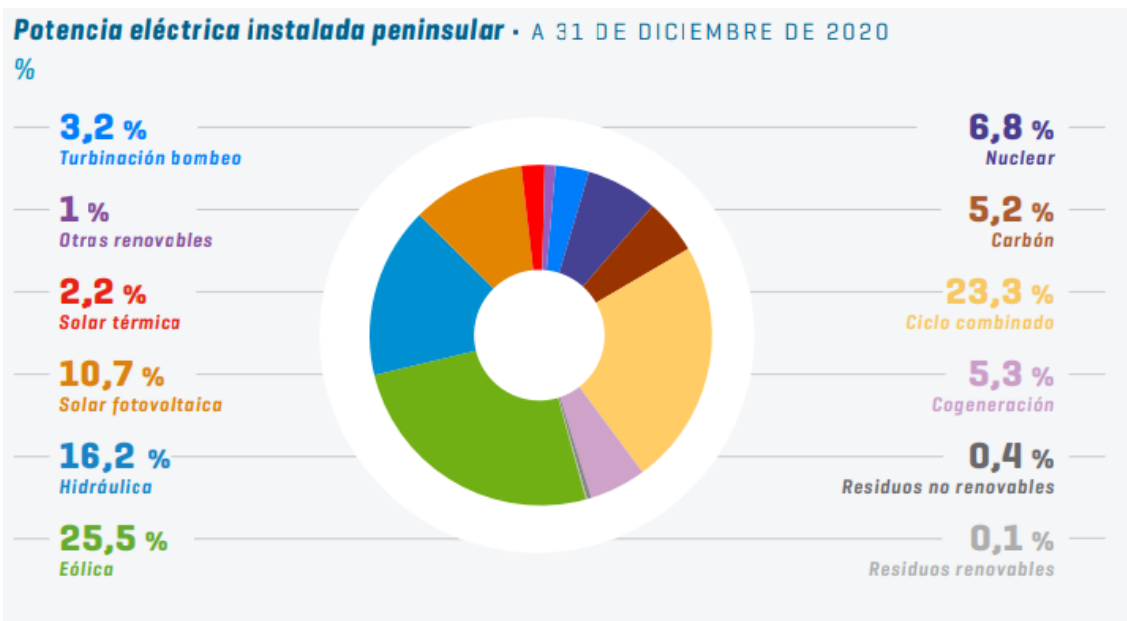


Ilustración 13. Potencia eléctrica instalada peninsular. Fuente: REE

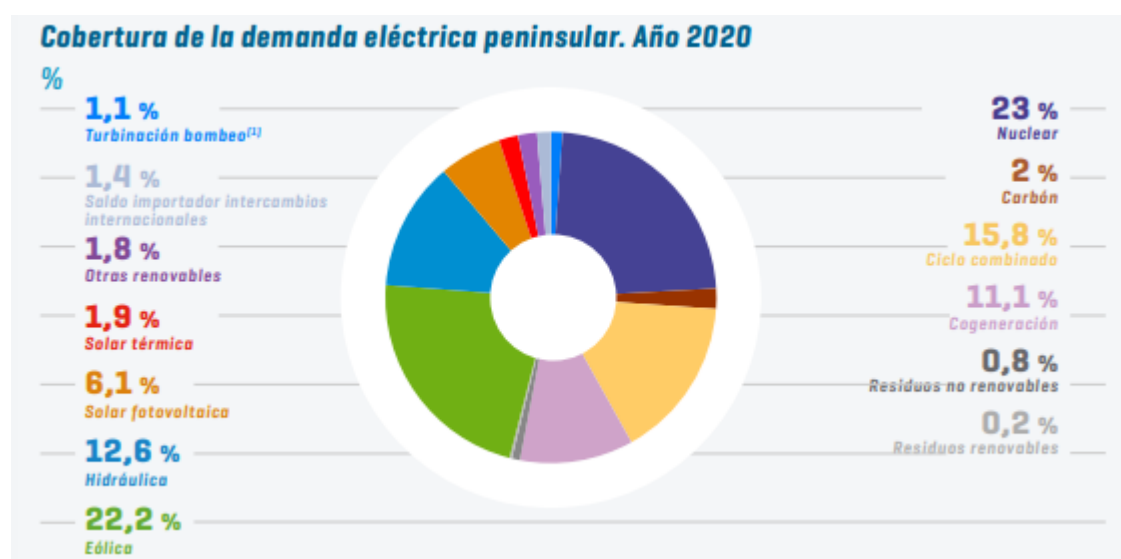


Ilustración 12. Cobertura de la demanda eléctrica peninsular. Fuente: REE

3 NORMATIVA APLICABLE.

1. **Real Decreto 1955/2000**, de 1 de diciembre por el que se regulan las actividades de transporte, distribución, comercialización, suministro y procedimientos de autorización de instalaciones de energía eléctrica [24].
- 4 **Real Decreto 842/2002**, de 2 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento electrotécnico para baja tensión [25].
- 5 **Real Decreto 314/2006**, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación [26].
- 6 **Real Decreto 1578/2008**, de 26 de septiembre, de retribución de la actividad de producción de energía eléctrica mediante tecnología solar fotovoltaica para instalaciones posteriores a la fecha límite de mantenimiento de la retribución del Real Decreto 661/2007, de 25 de mayo, para dicha tecnología [27].
- 7 **Real Decreto 1699/2011**, de 18 de noviembre, por el que se regula la conexión a red de instalaciones de producción de energía eléctrica de pequeña potencia [28].
- 8 **Ley 24/2013**: tiene por objeto establecer la regulación del sector eléctrico con la finalidad de garantizar el suministro de energía eléctrica, y de adecuarlo a las necesidades de los consumidores en términos de seguridad, calidad, eficiencia, objetividad, transparencia y al mínimo coste [29].
- 9 **Real Decreto 413/2014**, de 6 de junio, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovables, cogeneración y residuos [30].
- 10 **Real Decreto 900/2015**, de 9 de octubre, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas de las modalidades de suministro de energía eléctrica con autoconsumo y de producción con autoconsumo [31].
- 11 **Real Decreto-ley 15/2018**, de 5 de octubre, de medidas urgentes para la transición energética y la protección de los consumidores [32].
- 12 **Real Decreto 244/2019**, de 5 de abril, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas del autoconsumo de energía eléctrica [33].

4 UBICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DEL EMPLAZAMIENTO

Se va a realizar el estudio en una comunidad de vecinos ubicada en la calle Hispania de la localidad de María de Huerva, Zaragoza. Esta comunidad consta de 21 viviendas unifamiliares, para las cuales se estudiará la viabilidad de instalación de paneles solares en los tejados.

A continuación, se muestra una visión aérea de la ubicación de esta comunidad donde se puede observar la orientación de las viviendas.



*Ilustración 14. Vista aérea de la comunidad de vecinos.
Fuente: Google Earth.*

5 ORIENTACIÓN E INCLINACIÓN DE LOS PANELES

Los paneles solares se situarán en la cubierta de las viviendas, por lo que la orientación de los paneles vendrá dada por la propia orientación de las casas. Al tener cubierta a dos aguas, habrá que elegir en cuál de las dos fachadas se colocarán los paneles.

Para saber la orientación de cada una de las casas se ha usado una brújula y se han registrado los datos para cada una de las viviendas. Se ha obtenido en azimuth para cada grupo de casas tomando el Sur como referencia de 0°. Pueden verse los datos obtenidos en la Tabla 2.

En la imagen se puede observar la fachada elegida para cada vivienda en la que se colocarían los paneles. Se ha elegido teniendo en cuenta la orientación de cada una de las

casas, escogiendo la que estuviera más orientada al sur. De esta forma, al tener el menor azimut posible, obtendremos una mayor radiación solar en las fachadas.

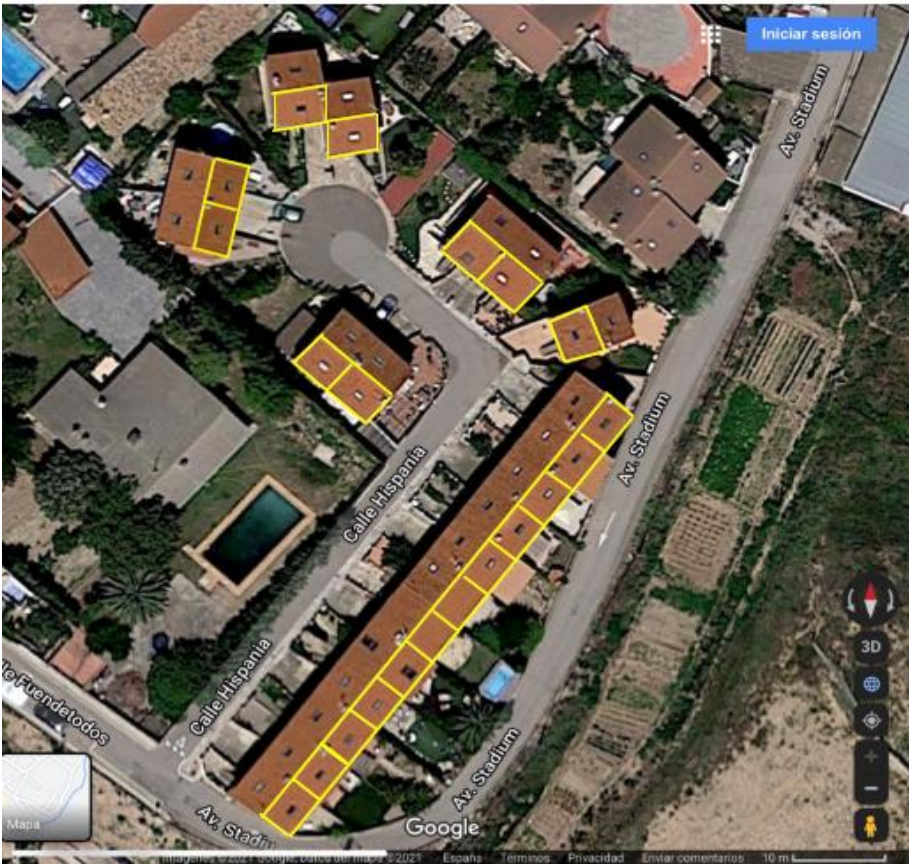


Ilustración 15. Fachadas seleccionadas para la instalación de los paneles.
Fuente: Elaboración propia.

Para obtener la inclinación óptima de los paneles en esta ubicación, se ha usado la herramienta PVGIS, en la que introduciendo le orientación de los paneles para cada grupo de casas nos ofrece la inclinación óptima de los paneles.

N.º de vivienda	Azimut (°)	Inclinación óptima (°)
1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12	-57	29
13	72	29
14, 15	43	35
16, 17	-10	37
18, 19	-75	18
20, 21	46	29

Tabla 2. Inclinación óptima para cada grupo de casas en función del azimut. Fuente: Elaboración propia

Al tener la cubierta de las casas una inclinación de 30° vamos a calcular las perdidas por orientación e inclinación para cada grupo de casas según la orientación que tengan. Las pérdidas se calculan según lo establecido en el *Código Técnico de la Edificación* [34]:

$$P erdidas\ (\%) = 100 \cdot [1,2 \cdot 10^{-4} \cdot (\beta - \phi + 10)^2 + 3,5 \cdot 10^{-5} \cdot \alpha^2]$$

Siendo:

- β (°): inclinación
- α (°): azimut
- Φ (°): latitud

Al obtenerse unas pérdidas inferiores al 20% en cualquiera de los casos se ha decidido escoger como inclinación de los paneles la misma del propio tejado. Manteniendo la misma inclinación que la cubierta evitamos la generación de posibles sombras entre los paneles.

6 DEMANDA ENERGÉTICA

Se conocen los consumos mensuales de las viviendas, por lo que podemos obtener el consumo total mensual de la comunidad como conjunto (Tabla 3).

Mes	Consumo (kWh)
Enero	31.452,97
Febrero	31.256,81
Marzo	24.489,95
Abril	19.681,18
Mayo	15.737,53
Junio	13.425,82
Julio	13.701,51
Agosto	13.557,77
Septiembre	13.181,86
Octubre	15.406,37
Noviembre	21.608,43
Diciembre	28.474,25
Anual	241.974,44

Tabla 3. Consumos mensuales del conjunto de las viviendas. Fuente: Elaboración propia.

6.1 Reparto de la energía.

Los participantes de la instalación de autoconsumo colectivo, para fijar los criterios de reparto de energía producida, deben firmar un acuerdo en el que se establecen los coeficientes de reparto. Estos coeficientes de reparto se fijan según lo acordado entre los vecinos, teniendo que ser estos coeficientes constantes y la suma de estos debe ser de 1. El documento de reparto se entrega a la distribuidora o a través de su empresa comercializadora.

En el Anexo I del Real Decreto 244/2019, de 5 de abril se establece:

“El valor de estos coeficientes podrá determinarse en función de la potencia a facturar de cada uno de los consumidores asociados participantes, de la aportación económica de

cada uno de los consumidores para la instalación de generación, o de cualquier otro criterio siempre que exista acuerdo firmado por todos los participantes y siempre que la suma de estos coeficientes β_i de todos los consumidores que participan en el autoconsumo colectivo sea la unidad. En cualquier caso, el valor de dichos coeficientes deberá ser constante.”

En la Tabla 4 se muestra un ejemplo de modelo de reparto basado en la energía anual consumida por cada vivienda respecto del consumo anual total del conjunto de viviendas. Estos valores pueden ser modificados en un futuro si se comunica a la distribuidora.

Casa	Energía anual consumida (kWh)	Coefficiente de reparto
1	8116	0,034
2	9828	0,041
3	4976	0,021
4	6563	0,027
5	18394	0,076
6	4293	0,018
7	16965	0,070
8	16542	0,068
9	7170	0,030
10	8574	0,035
11	15856	0,066
12	16805	0,069
13	7444	0,031
14	9725	0,040
15	17609	0,073
16	11847	0,049
17	8628	0,036
18	20850	0,086
19	17938	0,074
20	9493	0,039
21	4358	0,018
Conjunto	241974,45	1,00

Tabla 4. Coeficientes de reparto de energía. Fuente: Elaboración propia.

7 DATOS CLIMATOLÓGICOS. RECURSO SOLAR.

Los datos de irradiación solar se han obtenido mediante la herramienta online PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System). Esta ofrece los valores medios de irradiación diaria, mensual y anual tanto de la irradiación global, en superficies horizontales e inclinadas en la ubicación elegida.

Los datos proporcionados para nuestra ubicación son, una latitud de 41,539°, longitud de -0,993° una altitud de 328 metros.

Los datos de irradiación obtenidos corresponden a los del año 2016, que son los últimos datos disponibles en PVGIS.

The screenshot shows the PVGIS web interface. On the left is a map of a residential area in Valencia, Spain, with a blue pin indicating the location. The map includes street names like 'Calle del Río Júcar' and 'Calle de los Niños'. To the right of the map is a sidebar with navigation links: 'Home', 'Herramientas', 'Descargas', 'Documentación', and 'Contáctanos'. Below these is a 'Cursor' section showing 'Seleccionado 41.539, -0.993' and 'Elevación 328 (m)'. There are also links to 'Utilizar las sombras del terreno' with options for 'Horizonte calculado' and 'Cargar archivo de horizonte'. The main section is titled 'DATOS PROMEDIO DIARIOS DE IRRADIANCIA'. It includes a dropdown for 'Base de datos de radiación solar' set to 'PVGIS-SARAH', a 'Mes' dropdown set to 'Enero', and radio buttons for 'Hora UTC' and 'Hora local' (selected). Under 'Sobre plano fijo', there are checkboxes for 'Irradiancia' (checked), 'Irradiancia cielo claro' (checked), and 'Inclinación' (set to 35°). Under 'Sobre plano con seguimiento', there are checkboxes for 'Irradiancia' (unchecked), 'Irradiancia cielo claro' (unchecked), and 'Temperatura' (checked). At the bottom, there is a 'Visualizar resultados' button and download links for 'csv' and 'json'.

Ilustración 16. Ejemplo de introducción de datos en PVGIS.

Al tener diferentes grupos de viviendas en función de la orientación de estas, se han obtenido los datos de radiación para cada grupo y para cada mes del año. En el Anexo I se incluyen los datos de radiación media horaria para cada mes y para cada grupo de viviendas para una inclinación de 30°.

En la Tabla 5 se comparan los datos de radiación mensual promedio con los datos de consumo para obtener el coeficiente de radiación entre consumo del conjunto de viviendas y con este coeficiente se puede comparar que mes es el más desfavorable (marcado en rojo) y el más favorable (marcado en verde), ya que los meses con mayor consumo no tienen por qué ser los más desfavorables si fuera el caso de tener una mayor radiación solar. En este caso al tener un mayor consumo en los meses de invierno, que a su vez son en los que menos radiación solar tenemos, son los meses más desfavorables.

Mes	G (kWh/día m ²)	Consumo (kWh)	Coeficiente G/C
Enero	2,98	31452,97	0,000095
Febrero	3,77	31256,81	0,000121
Marzo	4,71	24489,95	0,000192
Abril	5,62	19681,18	0,000286
Mayo	6,23	15737,53	0,000396
Junio	6,88	13425,82	0,000512
Julio	7,36	13701,51	0,000537
Agosto	6,91	13557,77	0,000510

Septiembre	5,64	13181,86	0,000428
Octubre	4,35	15406,37	0,000282
Noviembre	3,04	21608,43	0,000141
Diciembre	2,73	28474,25	0,000096

Tabla 5. Radiación, consumo y coeficiente radiación/consumo. Fuente: Elaboración propia.

8 DISEÑO DE LA INSTALACIÓN

8.1 Caso 1: Instalación de autoconsumo con excedentes.

En este caso se va a analizar una instalación de autoconsumo con excedentes. Una vez obtenida la potencia total instalada de la instalación veremos si cumple los criterios necesarios para poder aplicarse a una instalación de autoconsumo con excedentes acogida a compensación económica, o de venta de excedentes.

Esta instalación estará formada por los paneles fotovoltaicos, el inversor o los inversores. Además, en instalaciones de autoconsumo colectivo serán necesarios los contadores de energía mediante los cuales se hará posible el reparto de forma horaria de la energía entre los vecinos según unos coeficientes de reparto acordados.

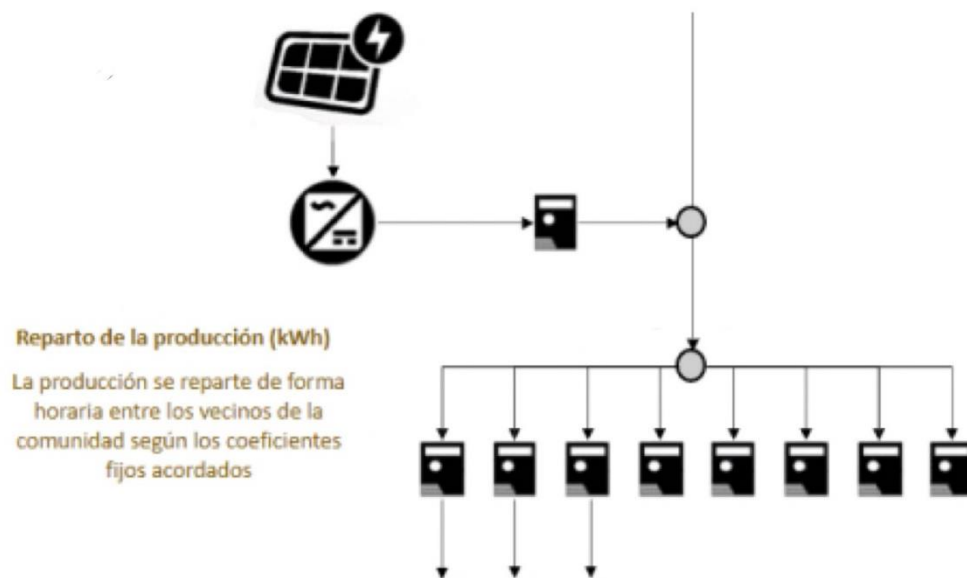


Ilustración 17. Reparto de energía en instalación colectiva. Fuente: factorenergia.com

8.1.1 Selección de los paneles.

Para la selección de los módulos fotovoltaicos se han tenido en cuenta diferentes modelos de alta potencia, en este caso los 3 modelos son de 450 Wp. En la Tabla 6 pueden verse las prestaciones de los diferentes modelos.

Modelo	Potencia (Wp)	Relación precio/potencia (€/Wp)	Dimensiones (mm)	Eficiencia (%)	Precio (€)
A-450M GS Atersa	450	0,398	2094x1038x40	20,7	179,08
JAM72S20-450MR Ja Solar	450	0,425	2120x1052x40	20,2	191,16
CS3W-450 Canadian Solar	450	0,425	2108x1048x40	20,37	191,16

Tabla 6. Características de los diferentes modelos de paneles solares. Fuente: Elaboración propia.

Como se puede comprobar el modelo A-450M GS de Atersa tiene las mejores prestaciones, ya que siendo de la misma potencia que los otros modelos, es más barata, eficiente, y con unas dimensiones menores, por lo que se podrán instalar más paneles para una misma superficie.

Los paneles solares fotovoltaicos monocristalinos de 120 medias células A450M OPTIMUM GS de 450W de Atersa son unas placas solares formadas por células de silicio monocristalino de alto rendimiento.

Se han escogido ya que son los paneles solares monocristalinos de mayor potencia que este fabricante distribuye. Es un panel ideal para instalaciones conectadas a red debido a su relación peso-potencia. Pueden usarse tanto para instalaciones con inyección a red como para instalaciones aisladas con el uso de inversores con Seguidor de Punto de Máxima Potencia (MPPT) [35].

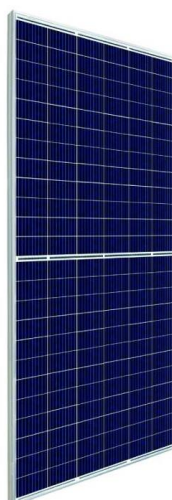


Ilustración 18. Panel solar A450M OPTIMUM GS de 450W de Atersa. [35]

En la Ilustración 19 se muestran las características eléctricas de los paneles solares, que posteriormente habrá que tener en cuenta para el diseño de la instalación.

A-xxxM GS 144 HM6 9BB (ES) (xxx = potencia nominal)

Características eléctricas	A-430M GS 144	A-435M GS 144	A-440M GS 144	A-445M GS 144	A-450M GS 144
Potencia Máxima (Pmax)	430 W	435 W	440 W	445 W	450 W
Tensión Máxima Potencia (Vmp)	40.70 V	40.90 V	41.10 V	41.30 V	41.50 V
Corriente Máxima Potencia (Imp)	10.57 A	10.64 A	10.71 A	10.78 A	10.85 A
Tensión de Circuito Abierto (Voc)	48.50 V	48.70 V	48.90 V	49.10 V	49.30 V
Corriente en Cortocircuito (Isc)	11.31 A	11.39 A	11.46 A	11.53 A	11.60 A
Eficiencia del Módulo (%)	19.78	20.01	20.24	20.47	20.70
Tolerancia de Potencia (W)	0/+5				
Máxima Serie de Fusibles (A)	20				
Máxima Tensión del Sistema (IEC)	DC 1.000 V / DC 1.500V (**)				
Temperatura de Funcionamiento Normal de la Célula (°C)	45±2				

Características eléctricas medidas en Condiciones de Test Standard (STC), definidas como: Irradiación de 1000 w/m², espectro AM 1.5 y temperatura de 25 °C.
Tolerancias medida STC: ±3% (Pmp); ±2% (Voc, Vmp); ±4% (Isc, Imp).
Best in Class AAA solar simulator (IEC 60904-9) used, power measurement uncertainty is within +/- 3%
(**) Máxima tensión del sistema de 1.500 V se fabrica bajo pedido.

Ilustración 19. Características eléctricas de los paneles solares [35].

8.1.2 Cálculo del número de paneles y de la potencia instalada.

En el caso de autoconsumo con excedentes acogida a compensación o no acogida a compensación, buscamos obtener la mayor producción posible en nuestra instalación, por lo que se va a obtener el número de paneles solares en función de la superficie disponible.

La cubierta de las viviendas tiene unas dimensiones de 6 x 5,2 m por lo que en cada vivienda tenemos una superficie disponible de 31,2 m².

En el conjunto de viviendas encontramos dos tipos de cubiertas, unas con una ventana con unas dimensiones de 1,1 x 0,6 m en el centro de la cubierta, y otras que no disponen de esta ventana central, por lo que habrá que tener en cuenta la disminución de espacio disponible en las viviendas que dispongan de esta ventana.

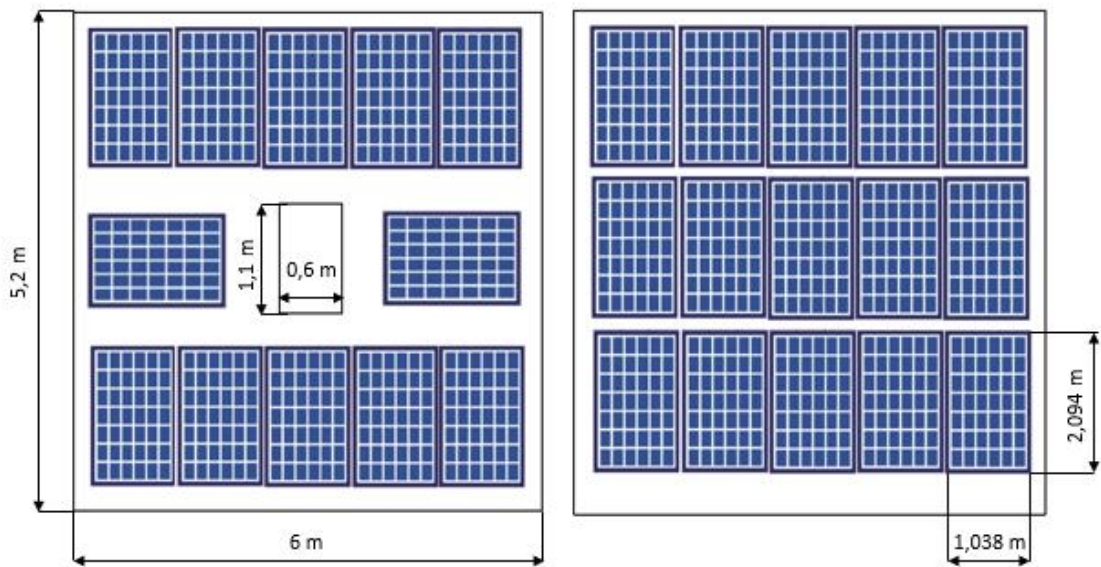


Ilustración 20. Disposición de los paneles solares. Fuente: Elaboración propia.

Los paneles solares seleccionados anteriormente, tienen unas dimensiones de 2094x1038x40 mm. En la Ilustración 20 puede verse la disposición escogida de los paneles, en la que se ha optimizado el uso del espacio disponible.

Con la disposición de los paneles solares escogida, se pueden instalar 15 paneles por vivienda en el caso de las que no disponen de ventana centra, y 12 paneles por vivienda en el caso de disponer de ventana. El total de la instalación solar constara de 258 paneles solares.

Cada panel tiene una potencia de 450 W, por lo que la potencia total instalada es de 116.100 kW. En la Tabla 7 puede verse la potencia instalada en cada grupo de viviendas.

Al tener una potencia instalada de un valor superior a los 100 kW, la modalidad de consumo que se deberá establecer es la de autoconsumo colectivo con excedentes no acogida a compensación.

Grupo de casas	Azimut (°)	N.º Paneles totales	Potencia (W)
1	-57	150	67500
2	72	12	5400
3	43	24	10800
4	-10	24	10800
5	-75	24	10800
6	46	24	10800

Tabla 7. Número de paneles instalados y de potencia por cada grupo de viviendas. Fuente: Elaboración propia.

8.1.3 Cálculo de la energía producida.

Para poder calcular la energía producida por los paneles solares, es necesario hacer un estudio de la radiación media diaria mensual para cada grupo de viviendas.

Para calcular la energía producida por los paneles tendremos que obtener también con PVGIS los valores de temperatura ambiente para poder calcular la temperatura de las células fotovoltaicas.

$$T_c = T_a + \frac{TONC - 20}{800} \cdot G$$

Siendo:

- T_a : Temperatura ambiente.
- TONC: Temperatura de operación nominal de la célula, siendo la que alcanzan las células solares a una irradiancia de 800 W/m² con distribución espectral AM 1,5 G, temperatura ambiente de 20 °C y velocidad del viento de 1 m/s.
- G : Radiación en W/m².

Una vez obtenidos los valores medios de radiación horaria mensual y la temperatura de las células, aplicamos hora a hora la siguiente expresión para obtener la potencia máxima y a su vez la energía producida:

$$P_m = P_{n\ STC} * \frac{G}{G_{STC}} [1 + \gamma(T_c - 25)]$$

Siendo:

- P_m : Potencia máxima.
- $P_{n\ STC}$: Potencia nominal en condiciones STC.
- γ : Coeficiente de variación de potencia con la temperatura.
- T_c : Temperatura de célula.

En el Anexo II se muestra la tabla de cálculo como ejemplo para el mes de enero para el grupo de viviendas con una orientación de -57° .

Teniendo en cuenta los días de cada mes podemos obtener la energía producida mensual. En la Tabla 8 se muestran los valores mensuales de energía producidos del conjunto de las 21 viviendas.

Mes	Producción (kWh/mes)
Enero	10.784,01
Febrero	12.132,93
Marzo	16.667,67
Abril	18.963,05
Mayo	21.383,40
Junio	22.540,66
Julio	24.352,20
Agosto	22.789,27
Septiembre	18.352,80
Octubre	14.972,37
Noviembre	10.467,56
Diciembre	9.961,20
Anual	203.367,13

Tabla 8. Energía mensual producida por los paneles. Fuente: Elaboración propia.

Comparando los valores obtenidos de energía producida con los de consumo podemos observar que hay meses en los que la producción es mayor al consumo, como es en los meses de verano, y al contrario en los meses de invierno.

Mes	Producción (kWh/mes)	Demanda (kWh/mes)
Enero	10.784,01	31.452,97
Febrero	12.132,93	31.256,81
Marzo	16.667,67	24.489,95
Abril	18.963,05	19.681,18
Mayo	21.383,40	15.737,53

Junio	22.540,66	13.425,82
Julio	24.352,20	13.701,51
Agosto	22.789,27	13.557,77
Septiembre	18.352,80	13.181,86
Octubre	14.972,37	15.406,37
Noviembre	10.467,56	21.608,43
Diciembre	9.961,20	28.474,25
Anual	203.367,13	217.484,50

Tabla 9. Comparación de la producción y demanda mensual de energía eléctrica. Fuente: Elaboración Propia.

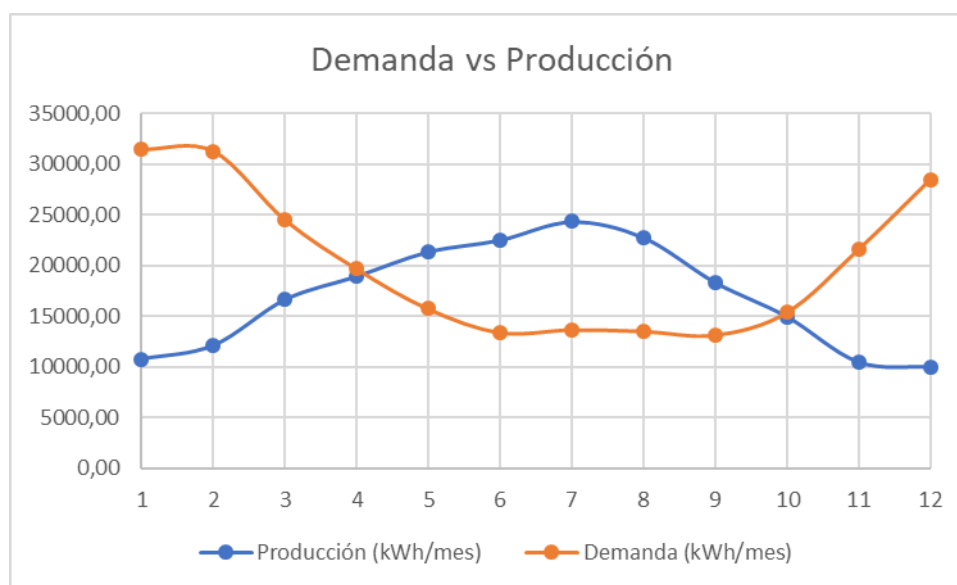


Tabla 10. Curva de demanda mensual frente a curva de producción mensual. Fuente: Elaboración propia.

8.1.4 Elección del inversor.

En la instalación fotovoltaica se puede instalar un inversor de potencia igual a la del conjunto de la instalación o varios inversores de menor potencia. Como se ha comentado anteriormente, las viviendas se han dividido en grupos en función de su orientación. Al tener un azimut diferente, se obtiene una captación solar distinta en cada grupo, lo que implica niveles diferentes de tensión e intensidad y una potencia distinta por cada grupo. Por ello se va a instalar un inversor para cada vivienda ya que sería complicado encontrar un inversor que agrupara diferentes viviendas con las mismas características de producción y potencias de producción similares, ya que los diferentes inversores tendrían que tener la misma potencia nominal para poder conectarlos en paralelo. Otra ventaja de tener distintos inversores es que en caso de avería de unos de los equipos permite seguir teniendo producción solar en el resto las viviendas. En la Ilustración 21 puede verse el esquema de la instalación.

La potencia nominal del inversor se elige tal que sea inferior a la potencia pico de la instalación, ya que esta se da en condiciones STC que no se dan en la realidad. Si se

Modelo	Potencia nominal de salida (W)	Max. Potencia fotovoltaica admisible (W)	Tensión mínima del MPPT (V)	Tensión máxima DC (V)
RONIUS PRIMO 5.0-1	5000	7500	240	1000
MIN 5000TL-XE GROWATT	5000	7000	80	550
5TL M INGECON SUN	5000	6500	90	850

Tabla 11. Características de los modelos de inversor. Fuente: Elaboración propia.

dimensionara el inversor para el 100% de la potencia pico, el inversor trabajaría en condiciones de baja potencia de salida, suponiendo un bajo rendimiento. Por ello se ha elegido un inversor de 5 kW de potencia nominal.

Se han tenido en cuenta diferentes modelos de inversor de potencia nominal de 5kW. En la Tabla 11 se muestra la comparativa de los diferentes modelos.

El inversor seleccionado es el Inversor de Conexión a Red FRONIUS Primo 5.0-1 5kW ya que dentro de los inversores seleccionados es el que mayor potencia fotovoltaica admite y el que mayor tensión DC de entrada tiene, por lo que podremos conectar un mayor número de paneles en serie. En el Anexo III se muestra la ficha técnica del inversor donde se incluyen las características eléctricas.

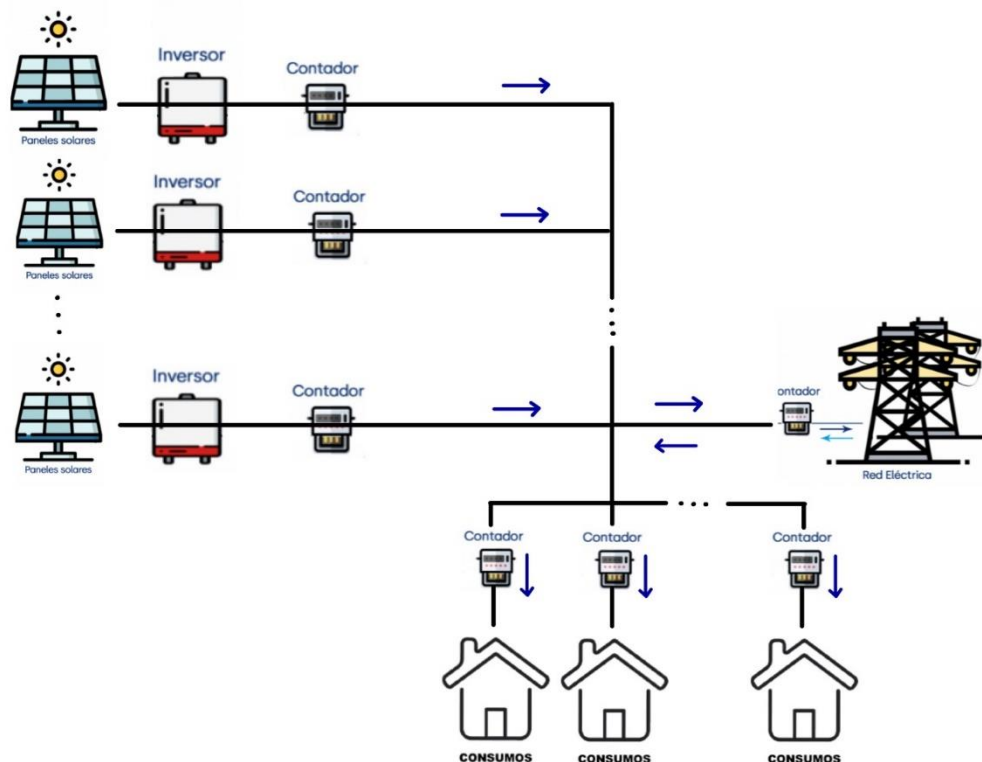


Ilustración 21. Esquema de la instalación de autoconsumo colectivo con excedentes. Fuente: Elaboración propia.

Para determinar la conexión eléctrica de los paneles tenemos que calcular cuántos paneles en serie para formar un string y cuantas ramas en paralelo podemos tener.

Numero de módulos en serie:

$$N_{m\acute{a}x,serie} < \frac{V_{max,inv\ DC}}{V_{oc}(-10^{\circ}C)}$$

$$V_{oc}(-10^{\circ}C) = V_{oc}(25^{\circ}C) + \beta(\Delta T)$$

Siendo:

- $V_{oc}(25^{\circ}C)$: tensión de circuito abierto a $25^{\circ}C$.
- β : coeficiente de variación de tensión con la temperatura.
- ΔT : incremento de temperatura.

$$V_{oc}(-10^{\circ}C) = 49,3 - 0,271 \cdot (-10 - 25) = 58,78\ V$$

$$N_{m\acute{a}x,serie} < \frac{1000\ V}{58,78\ V} = 17,01$$

El número máximo de paneles a conectar en serie es de 17 paneles.

$$N_{m\acute{i}n,serie} > \frac{V_{min,ppt\ inv}}{V_{mpp}(70^{\circ}C)}$$

$$V_{mpp}(70^{\circ}C) = V_{mpp,panel} + \beta(\Delta T) = 41,5 - 0,271 \cdot (70 - 25) = 29,3\ V$$

$$N_{m\acute{i}n,serie} > \frac{240\ V}{29,3\ V} = 8,18\ V$$

El número mínimo de paneles a conectar en serie es de 8 paneles.

Número de ramas en paralelo:

$$N_{ramas} < \frac{I_{max,entrada\ DC}}{I_{sc}}$$

$$N_{ramas} < \frac{18\ A}{11,6\ A} = 1,55$$

El número máximo de ramas es de 1 rama.

Por lo que la conexión en cada vivienda de los paneles al inversor será de 1 rama de 12 paneles en serie y de 15 paneles en el caso de las viviendas sin ventana.

8.1.5 Consumo horario.

Para poder calcular los excedentes de producción energética, es necesario comparar los datos de consumo y los de energía producida en función de radiación horaria, pero para ello hay que hacerlo con valores horarios, no mensuales. De esta forma podremos comparar hora a hora si la producción de energía eléctrica con los paneles solares es mayor, menos o igual a nuestro consumo. En los periodos en los que la producción energética sea superior a la demanda, se inyectaran los excedentes energéticos a la red.

Disponemos de los consumos mensuales del conjunto de las viviendas, pero no de los consumos horarios, por lo que será necesario realizar un perfilado para obtener las curvas de carga horaria. Este perfilado se va a obtener mediante los perfiles de consumo proporcionados por Red Eléctrica de España.

REE calcula y publica perfiles finales de consumo para poder obtener medidas horarias de consumo de un determinado tipo a partir de registros no horarios [36].

El procedimiento a seguir es el siguiente:

- Para un mes concreto se obtiene la suma de los perfiles de ese periodo de tiempo. Con el dato de consumo mensual para el grupo de viviendas de ese mismo mes, se divide entre la suma de los perfiles, que son adimensionales. DE esta forma obtenemos el consumo perfilado.
- Una vez obtenido el consumo perfilado, se multiplica por cada perfil horario de ese mes. De esta forma se obtiene el consumo en kWh a cada hora.
- Una vez obtenidos todos los consumos horarios para el mes seleccionado, se suman para comprobar que el resultado es igual al consumo mensual total, y comprobar que se ha realizado el procedimiento correctamente.
- Realizamos el mismo procedimiento para todos los meses del año.
- Una vez obtenidos los datos horarios de consumo se pueden comparar con los datos horarios de producción fotovoltaica.

8.1.6 Cálculo de excedentes.

Una vez disponemos de los datos horarios de consumo y producción podemos compararlos y evaluar la energía excedente y autoconsumida. Estos cálculos se realizan por separado para cada vivienda, ya que cada una de estas tiene un consumo y una parte correspondiente de la energía generada. La evaluación del consumo y excedentes producidos por vivienda debe realizarse de forma horaria y para cada mes del año.

Los excedentes producidos para cada vivienda serán:

$$Excedentes_i = E_s * \beta_i - C_i$$

Siendo:

- E_s : la energía solar horaria generada por la instalación.
- β_i : coeficiente de reparto correspondiente a la vivienda i.

- C_i : consumo horario correspondiente a la vivienda i.

Pueden darse 3 situaciones:

- Producción inferior al consumo. La energía producida por los paneles será completamente autoconsumida, no se generan excedentes energéticos. Al ser la producción insuficiente para satisfacer en el 100% del consumo, se demandará energía de la red eléctrica.
- Producción igual al consumo. El 100% de la energía eléctrica producida se autoconsumirá, sin producir excedentes ni tener que demandar energía de la red.
- Producción superior al consumo. Se generan excedentes energéticos que se inyectan a la red, de los cuales se obtiene un beneficio económico.

En el Anexo IV pueden observarse los valores obtenidos de energía solar correspondiente a cada vivienda teniendo en cuenta los coeficientes de reparto, la demanda total de la vivienda, el consumo de la red eléctrica y los excedentes producidos mensuales por cada vivienda.

En la Tabla 12 se muestran a modo de resumen los valores anuales de consumo de la red y excedentes energéticos para cada vivienda.

Casa 1	Excedentes (kWh)	3.578,03
	Consumo de la red (kWh)	4.476,24
Casa 2	Excedentes (kWh)	4.294,85
	Consumo de la red (kWh)	5.407,07
Casa 3	Excedentes (kWh)	2.231,13
	Consumo de la red (kWh)	2.749,86
Casa 4	Excedentes (kWh)	2.911,12
	Consumo de la red (kWh)	3.747,87
Casa 5	Excedentes (kWh)	8.278,96
	Consumo de la red (kWh)	10.565,36
Casa 6	Excedentes (kWh)	1.874,67
	Consumo de la red (kWh)	2.350,90
Casa 7	Excedentes (kWh)	7.666,91
	Consumo de la red (kWh)	9.788,55
Casa 8	Excedentes (kWh)	7.607,91
	Consumo de la red (kWh)	9.722,58
Casa 9	Excedentes (kWh)	3.232,23

	Consumo de la red (kWh)	4.044,16
Casa 10	Excedentes (kWh)	3.613,19
	Consumo de la red (kWh)	4.766,15
Casa 11	Excedentes (kWh)	7.091,35
	Consumo de la red (kWh)	8.946,28
Casa 12	Excedentes (kWh)	7.942,33
	Consumo de la red (kWh)	10.116,00
Casa 13	Excedentes (kWh)	3.144,55
	Consumo de la red (kWh)	4.011,52
Casa 14	Excedentes (kWh)	4.150,61
	Consumo de la red (kWh)	5.394,25
Casa 15	Excedentes (kWh)	8.333,52
	Consumo de la red (kWh)	10.465,44
Casa 16	Excedentes (kWh)	5.605,12
	Consumo de la red (kWh)	7.117,88
Casa 17	Excedentes (kWh)	3.725,99
	Consumo de la red (kWh)	4.717,31
Casa 18	Excedentes (kWh)	9.448,24
	Consumo de la red (kWh)	12.063,09
Casa 19	Excedentes (kWh)	7.887,83
	Consumo de la red (kWh)	10.140,68
Casa 20	Excedentes (kWh)	3.889,48
	Consumo de la red (kWh)	5.110,64
Casa 21	Excedentes (kWh)	1.852,69
	Consumo de la red (kWh)	2.389,58

Tabla 12. Consumo de la red y excedentes energéticos anuales por vivienda. Fuente: Elaboración propia.

8.1.7 Inversión inicial.

Para el cálculo de la inversión inicial en el caso de instalación de autoconsumo con excedentes no acogida a compensación económica se han tenido en cuenta los siguientes elementos:

- 258 paneles solares con un precio de 179,08 € por panel. El coste total de los paneles será de 46.202,64 €.
- 21 inversores con un precio de 1.395,41 € por inversor. El coste total de los inversores será de 29.303,61 €.
- Un coste de instalación de 2.000 € por vivienda. El coste total de la instalación será de 42.000 €.
- También se tiene en cuenta el valor del IVA de un 21% respecto del coste total.

El coste total de la inversión inicial de este caso teniendo en cuenta los elementos citados anteriormente es de 142.182,56€.

Para esta instalación de autoconsumo colectivo se propone que a cada vecino se le atribuya la parte correspondiente de la inversión inicial teniendo en cuenta los coeficientes de reparto de energía citados anteriormente. En la Tabla 13 puede comprobarse el coste de la inversión inicial que deberá asumir cada vivienda.

Vivienda	Coefficiente de reparto	Inversión inicial (€)
1	0,034	4.768,91
2	0,041	5.774,87
3	0,021	2.923,86
4	0,027	3.856,37
5	0,076	10.808,19
6	0,018	2.522,54
7	0,070	9.968,52
8	0,068	9.719,97
9	0,030	4.213,04
10	0,035	5.038,02
11	0,066	9.316,88
12	0,069	9.874,77
13	0,031	4.374,04
14	0,040	5.714,34
15	0,073	10.346,93
16	0,049	6.961,22
17	0,036	5.069,75
18	0,086	12.251,32
19	0,074	10.540,25
20	0,039	5.578,02
21	0,018	2.560,73

Tabla 13. Inversión inicial correspondiente para cada vivienda. Fuente: Elaboración propia.

8.1.8 Cálculo de costes y ahorro anual

Con los valores obtenidos de consumo real de la red y los excedentes energéticos para cada vivienda, se calculan los costes derivados de la demanda y el ahorro mensual producido por la menor demanda de la red eléctrica y los ingresos producidos por la venta de excedentes a la red.

Para obtener el valor de los excedentes producidos tomamos como valor de venta de los excedentes de 0,04€/kWh y para obtener los costes de consumo de la red tomamos un valor de referencia de 0,1325 €/kWh.

En el Anexo V se muestran los costes de demanda y ahorro mensuales para cada vivienda.

A modo de resumen se recogen los valores anuales de costes del consumo y de ahorro anuales para cada vivienda en la Tabla 14.

Casa 1	Coste de la demanda (€)	1.075,37
	Valor de los Excedentes (€)	143,12
	Coste Consumo de la red (€)	593,10
	Coste Total (€)	449,98
	Ahorro total (€)	625,39
Casa 2	Coste de la demanda (€)	1.302,21
	Valor de los Excedentes (€)	171,79
	Coste Consumo de la red (€)	716,44
	Coste Total (€)	544,64
	Ahorro total (€)	757,57
Casa 3	Coste de la demanda (€)	659,32
	Valor de los Excedentes (€)	89,25
	Coste Consumo de la red (€)	364,36
	Coste Total (€)	275,11
	Ahorro total (€)	384,21
Casa 4	Coste de la demanda (€)	869,60
	Valor de los Excedentes (€)	116,44
	Coste Consumo de la red (€)	496,59
	Coste Total (€)	380,15
	Ahorro total (€)	489,45
Casa 5	Coste de la demanda (€)	2437,21
	Valor de los Excedentes (€)	331,16
	Coste Consumo de la red (€)	1.399,91
	Coste Total (€)	1.068,75
	Ahorro total (€)	1.368,45
Casa 6	Coste de la demanda (€)	568,82
	Valor de los Excedentes (€)	74,99
	Coste Consumo de la red (€)	311,49

	Coste Total (€)	236,51
	Ahorro total (€)	332,32
Casa 7	Coste de la demanda (€)	2247,86
	Valor de los Excedentes (€)	306,68
	Coste Consumo de la red (€)	1.296,98
	Coste Total (€)	990,31
	Ahorro total (€)	1.257,56
Casa 8	Coste de la demanda (€)	2.191,82
	Valor de los Excedentes (€)	304,32
	Coste Consumo de la red (€)	1.288,24
	Coste Total (€)	983,93
	Ahorro total (€)	1207,89
Casa 9	Coste de la demanda (€)	950,03
	Valor de los Excedentes (€)	129,29
	Coste Consumo de la red (€)	535,85
	Coste Total (€)	406,56
	Ahorro total (€)	543,46
Casa 10	Coste de la demanda (€)	1.136,06
	Valor de los Excedentes (€)	144,53
	Coste Consumo de la red (€)	631,51
	Coste Total (€)	486,99
	Ahorro total (€)	649,07
Casa 11	Coste de la demanda (€)	2.100,92
	Valor de los Excedentes (€)	283,65
	Coste Consumo de la red (€)	1.185,38
	Coste Total (€)	901,73
	Ahorro total (€)	1.199,19
Casa 12	Coste de la demanda (€)	2.226,72
	Valor de los Excedentes (€)	317,69
	Coste Consumo de la red (€)	1.340,37
	Coste Total (€)	1.022,68
	Ahorro total (€)	1204,04
Casa 13	Coste de la demanda (€)	986,33
	Valor de los Excedentes (€)	125,78
	Coste Consumo de la red (€)	531,53
	Coste Total (€)	405,74
	Ahorro total (€)	580,59
Casa 14	Coste de la demanda (€)	1.288,56
	Valor de los Excedentes (€)	166,02
	Coste Consumo de la red (€)	714,74
	Coste Total (€)	548,71
	Ahorro total (€)	739,85
Casa 15	Coste de la demanda (€)	2.333,19

	Valor de los Excedentes (€)	333,34
	Coste Consumo de la red (€)	1.386,67
	Coste Total (€)	1053,33
	Ahorro total (€)	1279,86
Casa 16	Coste de la demanda (€)	1.569,73
	Valor de los Excedentes (€)	224,20
	Coste Consumo de la red (€)	943,12
	Coste Total (€)	718,91
	Ahorro total (€)	850,81
Casa 17	Coste de la demanda (€)	1.143,21
	Valor de los Excedentes (€)	149,04
	Coste Consumo de la red (€)	625,04
	Coste Total (€)	476,00
	Ahorro total (€)	667,21
Casa 18	Coste de la demanda (€)	2.762,63
	Valor de los Excedentes (€)	377,93
	Coste Consumo de la red (€)	1.598,36
	Coste Total (€)	1.220,43
	Ahorro total (€)	1.542,20
Casa 19	Coste de la demanda (€)	2.376,79
	Valor de los Excedentes (€)	315,51
	Coste Consumo de la red (€)	1.343,64
	Coste Total (€)	1.028,13
	Ahorro total (€)	1.348,66
Casa 20	Coste de la demanda (€)	1.257,82
	Valor de los Excedentes (€)	155,58
	Coste Consumo de la red (€)	677,16
	Coste Total (€)	521,58
	Ahorro total (€)	736,24
Casa 21	Coste de la demanda (€)	577,44
	Valor de los Excedentes (€)	74,11
	Coste Consumo de la red (€)	316,62
	Coste Total (€)	242,51
	Ahorro total (€)	334,92

Tabla 14. Coste y ahorro anual por vivienda del caso 1. Fuente: Elaboración propia.

Tomando como ejemplo de la Tabla 14 la casa n.º.1 analizamos los resultados obtenidos. El coste de la demanda se obtiene de la suma de los costes mensuales para la vivienda N.º 1, que cada uno se ha obtenido multiplicando la demanda mensual en kWh por el coste de la energía eléctrica en €/kWh. En este caso obtenemos un valor total del coste de la demanda sin la instalación fotovoltaica de 1.075,37 € anuales. La valorización económica de los excedentes energéticos se obtiene de la misma forma, sumando el valor de los excedentes a nivel horario (cuando la producción de energía solar horaria es mayor que la demanda horaria) obteniendo el valor total mensual de los excedentes en kWh y

multiplicándolos por el valor de venta de energía en €/kWh de energía excedente. Para la vivienda N°1. Obtenemos un beneficio económico anual de 143,12 €.

El coste total de la demanda con la instalación fotovoltaica lo obtenemos analizando a nivel horario en que periodos la demanda energética es inferior a la producción por lo que tenemos que consumir energía de la red. Obteniendo el valor total en kWh obtenemos el coste económico multiplicándolo por el precio de la energía al igual que hemos hecho en el caso del coste económico sin instalación fotovoltaica. Obtenemos un coste real de la demanda de 449,98 € anuales.

Por último, el valor del ahorro total producido por cada participante se obtiene tanto del ahorro en el coste de la energía no demandada por la red tanto por los ingresos extra de la venta de los excedentes energéticos. Para la casa N.º. obtenemos un ahorro total de 625 € anuales.

En la Ilustración 22 se puede ver de forma más visual la comparación de los costes de demanda energética de la red anual para cada vivienda.

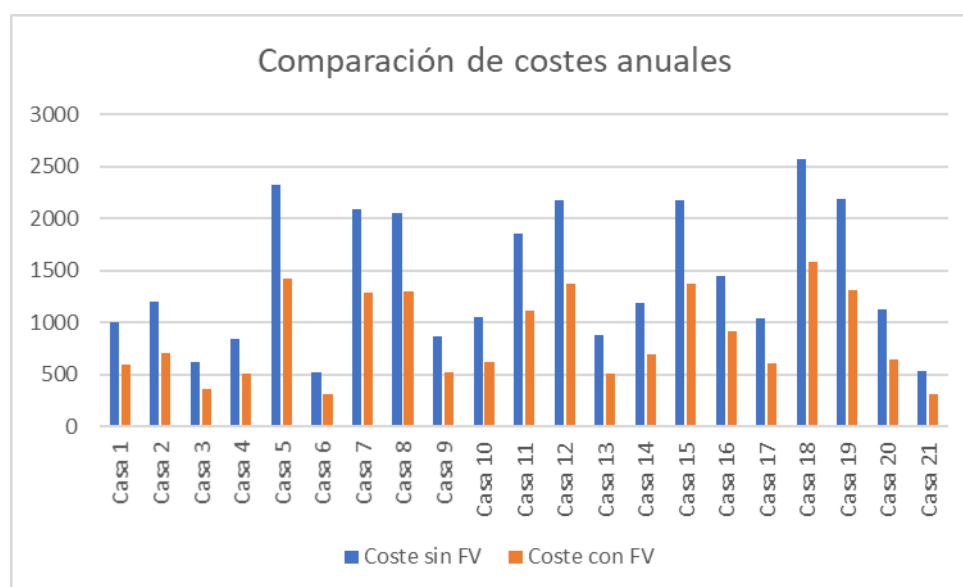


Ilustración 22. Comparación de costes anuales por vivienda del caso 1. Fuente: Elaboración propia.

8.1.9 Amortización de la instalación.

Como se puede observar en la Tabla 15 la amortización de la inversión inicial de cada vivienda se da para el 8º o 9º año según la vivienda. Por lo que a partir de estos años se habrá conseguido un valor de ahorro económico mayor al coste inicial de la instalación, por lo que los ingresos posteriores al periodo de amortización serán ganancias correspondientes a cada vecino de la comunidad.

Vivienda	Inversión inicial (€)	Ahorro anual (€)	Amortización (años)
1	4.768,91	625,39	7,63
2	5.774,87	757,57	7,62
3	2.923,86	384,21	7,61
4	3.856,37	489,45	7,88
5	10.808,19	1.368,45	7,90
6	2.522,54	332,32	7,59
7	9.968,52	1.257,56	7,93
8	9.719,97	1.207,89	8,05
9	4.213,04	543,46	7,75
10	5.038,02	649,07	7,76
11	9.316,88	1.199,19	7,77
12	9.874,77	1.204,04	8,20
13	4.374,04	580,59	7,53
14	5.714,34	739,85	7,72
15	10.346,93	1.279,86	8,08
16	6.961,22	850,81	8,18
17	5.069,75	667,21	7,60
18	12.251,32	1.542,20	7,94
19	10.540,25	1.348,66	7,82
20	5.578,02	736,24	7,58
21	2.560,73	334,92	7,65

Tabla 15. Amortización de la inversión inicial del caso 1 Fuente: Elaboración propia.

8.1.10 Rentabilidad económica. Cálculo del VAN y del TIR.

El valor actual neto (VAN) es un criterio de inversión que consiste en actualizar los cobros y los pagos de un proyecto para conocer si se va a ganar o perder con esa inversión. Trae los flujos de caja al momento presente descontándolos a un tipo de interés determinado. Un proyecto es rentable cuando el valor del VAN es mayor que cero. Este criterio se usa para la valoración de diferentes opciones de inversión, sabiendo con cuál de ellas vamos a obtener mayores ganancias [37]. Se calcula con la siguiente expresión:

$$VAN = -I_o + \sum_{n=0}^t \frac{F_t}{(1+i)^n}$$

Siendo:

- I_o : Inversión inicial.
- F : Flujo de caja.
- i : Tasa de actualización.

- t : Número de años.

La tasa de actualización se obtiene de la siguiente forma:

$$i = e + k \times (1 + e) + r = 3,085\%$$

Siendo:

- Interés de capital (e) = 1,1% [38]
- Inflación anual (k) = 0,65% [39]
- Prima de riesgo (r) = 0,62% [40]

Para poder comparar si es más rentable el escenario con la instalación solar, o sin ella, se calculan los flujos de caja y el VAN para cada vivienda.

La tasa interna de retorno (TIR) se usa para analizar la viabilidad de un proyecto y determinar la tasa de rentabilidad que se puede obtener de dicha inversión. Se define como el valor de la tasa de descuento que iguala el VAN a cero.

$$TIR = -I_o + \sum_{n=0}^t \frac{F_t}{(1+i)^n} = 0$$

Si el valor del TIR es mayor a la tasa de descuento el proyecto será viable, priorizando los casos en los que se tenga un valor del TIR mayor.

En el Anexo VI se incluyen los cálculos para el caso de instalación de autoconsumo con excedentes no acogido a compensación.

En la Tabla 16 se recogen los valores del VAN y el TIR obtenidos para cada vivienda.

	VAN 105 kW(€)	TIR 105 kW
Casa 1	6.018,66	12%
Casa 2	13.164,31	12%
Casa 3	6.681,36	12%
Casa 4	8.379,86	12%
Casa 5	23.403,13	12%
Casa 6	5.785,34	12%
Casa 7	21.470,37	12%
Casa 8	20.477,27	12%
Casa 9	9.373,51	12%
Casa 10	11.188,68	12%
Casa 11	20.662,91	12%
Casa 12	20.226,35	11%
Casa 13	10.140,60	13%
Casa 14	12.781,89	12%
Casa 15	21.649,62	12%
Casa 16	14.309,13	11%
Casa 17	11.610,41	12%

Casa 18	26.303,56	12%
Casa 19	23.176,20	12%
Casa 20	12.828,03	13%
Casa 21	5.812,34	12%

Tabla 16. VAN y TIR por vivienda del caso 1. Fuente: Elaboración propia.

8.2 Caso 2: Instalación de autoconsumo sin excedentes.

La principal diferencia del autoconsumo sin excedentes respecto del caso anterior es que no se puede obtener un beneficio económico a partir de la venta de excedentes energéticos. El ahorro económico derivado de esta instalación de autoconsumo será el derivado, del menor consumo de electricidad de la red, debido a que en ciertos periodos del día la producción de energía solar será mayor o igual al consumo en ese periodo.

En el caso anterior al poder obtener ese beneficio extra, se buscaba maximizar la producción de energía solar. En este caso se va a estudiar la comparación de 3 instalaciones de potencia nominal diferente, para poder comparar la rentabilidad económica entre ellas, y comprobar si resulta rentable una mayor inversión inicial en una instalación de mayor potencia, en la que no podamos aprovechar los excedentes, o si por el contrario sería mejor una instalación de menor potencia con una menor inversión inicial en la que no se produzcan excedentes o en su caso, en menor proporción.

Se van a plantear 3 instalaciones, una de potencial nominal de 20 kW, otra de 60 kW y por último una de 105 kW. Esta última se dimensionará igual que en el caso 1.

8.2.1 Instalación de potencia nominal de 20 kW.

Para dimensionar la instalación de generación se han analizado los datos de producción de energía solar a partir de datos de radiación horaria para cada mes, de forma que al compararlos con los datos de consumo horarios de cada mes se cumpla que los excedentes energéticos sean nulos.

Se ha obtenido un valor de potencia pico instalada de 21.600 W a partir de la cual se empiezan a producir excedentes energéticos. Por lo que se instalará un total de 48 paneles fotovoltaicos, los mismos que los seleccionados en el caso anterior. Estos paneles se ubicarán en las viviendas con un azimut de -57° .

8.2.1.1 Selección del inversor.

En este caso la potencia pico de la instalación es de 21.600 W por lo que para elegir la potencia del inversor o inversores necesarios en esta instalación se tomará de tal forma que se encuentre entre el 80% y el 90% del valor de potencia pico.

Se han escogido dos inversores de 10 kW de potencia cada uno, de forma que la potencia de salida será de 20 kW.

Se han tenido en cuenta los siguientes modelos de inversor:

Inversor	N.º MPPT	N.º de entradas	Tensión máx. entrada (V)	Corriente máx. DC (A)	Precio (€)
GW10K-MS	3	3	600	12,5	2.176,9
FRONIUS SYMO 10.0-3-M	2	6	1.000	16,5	2.486,45

Tabla 17. Características de los inversores. Fuente: Elaboración propia

En este caso se ha optado por elegir el modelo Fronius Symo 10.0-3-M ya que tiene una mayor tensión de entrada por lo que podremos unir un mayor número de paneles en serie y al tener mayor tensión de corriente de entrada podremos tener más ramas en paralelo. En el Anexo VIII se muestra la ficha técnica del inversor seleccionado.

Una vez seleccionado el inversor se procede a calcular el número de paneles en serie y paralelo que se pueden conectar.

Numero de paneles en serie.

$$N_{m\acute{a}x,serie} < \frac{V_{max,inv\ DC}}{V_{oc}(-10^{\circ}C)}$$

$$V_{oc}(-10^{\circ}C) = V_{oc}(25^{\circ}C) + \beta(\Delta T)$$

Siendo:

- $V_{oc}(25^{\circ}C)$: tensión de circuito abierto a $25^{\circ}C$.
- β : coeficiente de variación de tensión con la temperatura.
- ΔT : incremento de temperatura.

$$V_{oc}(-10^{\circ}C) = 49,3 - 0,271 \cdot (-10 - 25) = 58,78\ V$$

$$N_{m\acute{a}x,serie} < \frac{1000\ V}{58,78\ V} = 17,01$$

El número máximo de paneles a conectar en serie es de 17 paneles.

$$N_{m\acute{i}n,serie} > \frac{V_{min,ppt\ inv}}{V_{mpp}(70^{\circ}C)}$$

$$V_{mpp}(70^{\circ}C) = V_{mpp,panel} + \beta(\Delta T) = 41,5 - 0,271 \cdot (70 - 25) = 29,3\ V$$

$$N_{m\acute{i}n,serie} > \frac{270\ V}{29,3\ V} = 9,21\ V$$

El número mínimo de paneles a conectar en serie es de 9 paneles.

Número de ramas en paralelo:

En este inversor tenemos dos seguidores MPPT, uno con una corriente máxima de entrada de 27 A y otro de 16,5 A.

Para el primer seguidor MPPT:

$$N_{ramas} < \frac{I_{max, entrada\ DC}}{I_{sc}}$$

$$N_{ramas} < \frac{27\ A}{11,6\ A} = 2,32$$

El número máximo de ramas en paralelo es de 2.

Para el segundo seguidor MPPT:

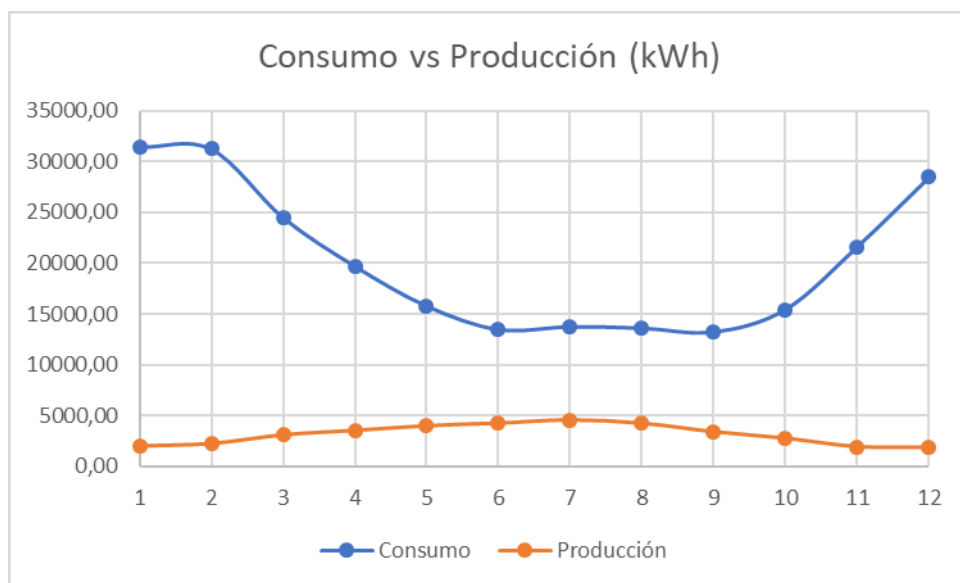
$$N_{ramas} < \frac{16,5\ A}{11,6\ A} = 1,42$$

El número máximo de ramas en paralelo es de 1.

Por lo que se conectarán en dos entradas 2 ramas en paralelo de 12 paneles en serie en cada entrada, teniendo así el total de los 48 paneles solares.

8.2.1.2 Demanda y producción.

Analizando la curva de consumo frente a la de producción mensual (Ilustración 23), podemos observar que la producción de energía solar está muy por debajo del consumo de energía debido a la reducción de potencia instalada. En los meses de verano, la producción es mayor que en los meses de invierno, pero comparándolo con el consumo no se consigue satisfacer ni un 25% de la demanda en el mes más favorable.



8.2.1.3 Inversión inicial.

Para el cálculo de la inversión inicial en el caso de instalación de autoconsumo sin excedentes de 20 kW se han tenido en cuenta los siguientes elementos:

- 48 paneles solares con un precio de 179,08 € por panel. El coste total de los paneles será de 8.585,84 €.
- 2 inversores con un precio de 2.486,45 € por inversor. El coste total de los inversores será de 4.972,9€.
- Coste de la instalación de los equipos de 10.000 €.
- Se ha tenido en cuenta en IVA del 21% respecto del coste total.

El coste total de la inversión inicial de este caso teniendo en cuenta los elementos citados anteriormente es de 28.518,17€. Se puede ver en la Tabla 18 la inversión inicial correspondiente a cada vecino.

Vivienda	Inversión inicial (€)
1	956,52
2	1.158,29
3	586,45
4	773,49
5	2.167,85
6	505,96
7	1.999,43
8	1.949,58
9	845,03
10	1.010,50
11	1.868,73
12	1.980,63
13	877,32
14	1.146,15
15	2.075,33
16	1.396,24
17	1.016,86
18	2.457,30
19	2.114,10
20	1.118,81
21	513,62

Tabla 18. Inversión inicial por vecino del caso 2. Fuente: Elaboración propia.

8.2.1.4 Cálculo de costes y del ahorro anual.

A diferencia del caso anterior, en la instalación de autoconsumo sin excedentes, el ahorro económico producido es solo derivado del no consumo de energía eléctrica de la red debido a la producción fotovoltaica, ya que en este caso no producimos excedentes que se viertan a la red de los cuales podamos obtener beneficio económico. En la Tabla 19 se muestran los valores de los costes de demanda tanto con producción fotovoltaica como sin ella, y el ahorro económico derivado de la instalación.

	Coste de la demanda (€)	Coste del consumo de la red (€)	Ahorro (€)
Casa 1	1.075,37	901,37	174,00
Casa 2	1.302,21	1.065,74	236,47
Casa 3	659,32	539,38	119,94
Casa 4	869,60	718,80	150,79
Casa 5	2.437,21	2.025,62	411,59
Casa 6	568,82	467,32	101,50
Casa 7	2.247,86	1.873,40	374,47
Casa 8	2.191,82	1.844,91	346,91
Casa 9	950,03	783,75	166,27
Casa 10	1.136,06	958,13	177,92
Casa 11	2.100,92	1.777,78	323,14
Casa 12	2.226,72	1.901,72	325,01
Casa 13	986,33	828,20	158,13
Casa 14	1.288,56	1.085,20	203,36
Casa 15	2.333,19	1.986,40	346,79
Casa 16	1.569,73	1.334,22	235,50
Casa 17	1.143,21	937,24	205,97
Casa 18	2.762,63	2.351,94	410,69
Casa 19	2.376,79	2.008,60	368,18
Casa 20	1.257,82	1.059,21	198,61
Casa 21	577,44	485,33	92,11

Tabla 19. Coste y ahorro anual por vivienda en instalación de 20 kW. Fuente: Elaboración propia

El coste de la demanda energética original es igual que en el caso anterior, ya que los valores de consumo por vivienda son independientes de que haya instalación fotovoltaica o no, así que, al tener el mismo valor de kWh demandados, el coste de estos será el mismo.

El coste de la demanda con instalación fotovoltaica lo obtenemos de sumar los periodos horarios en los que la producción de energía fotovoltaica es inferior al consumo horario, por lo que se tiene que consumir energía eléctrica de la red. Al igual que en el caso

anterior, este valor de demanda en kWh lo multiplicamos por el coste de la energía en €/kWh obteniendo el coste total por vivienda.

El ahorro económico en este caso proviene únicamente de la menor demanda energética, no consumiendo en los periodos en los que la producción es mayor a la demanda, ahorrando el coste derivado de lo que hubiéramos consumido en ese periodo horario sin la instalación.

En la Ilustración 24 se muestra de forma visual la diferencia de costes de la demanda energética anual por vivienda.

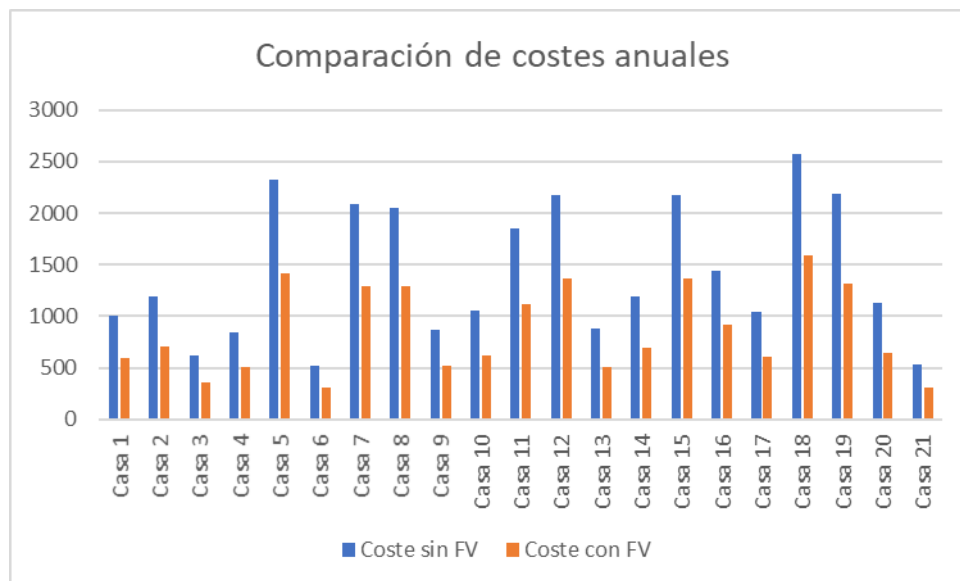


Ilustración 24. Comparación de costes anuales por vivienda para la instalación de 20 kW. Fuente: Elaboración propia.

8.2.2 Instalación de potencia nominal de 60 kW.

En este caso se plantea una instalación con una potencia pico instalada de 64,8 KW, que constará de 144 paneles fotovoltaicos ubicados en las viviendas con un azimut de -57°. Se colocarán 12 paneles por vivienda.

8.2.2.1 Selección de inversor.

El modelo de inversor seleccionado será el mismo que en el caso anterior, el Fronius Symo 10.0-3-M. Se instalarán 6 inversores del 10 kW, por lo que obtendremos una potencia nominal de la instalación de 60 kW. En el caso anterior se han realizado los cálculos del número de módulos por serie y ramas en paralelo.

8.2.2.2 Demanda y producción.

En la Ilustración 23 se muestran las curvas de consumo y producción mensuales. En este caso puede apreciarse que la producción de energía solar mensual sigue siendo inferior a la demanda energética, pero en menor medida que en el caso anterior. Con esta instalación, en los meses de verano se obtienen valores de generación muy próximos al del consumo.

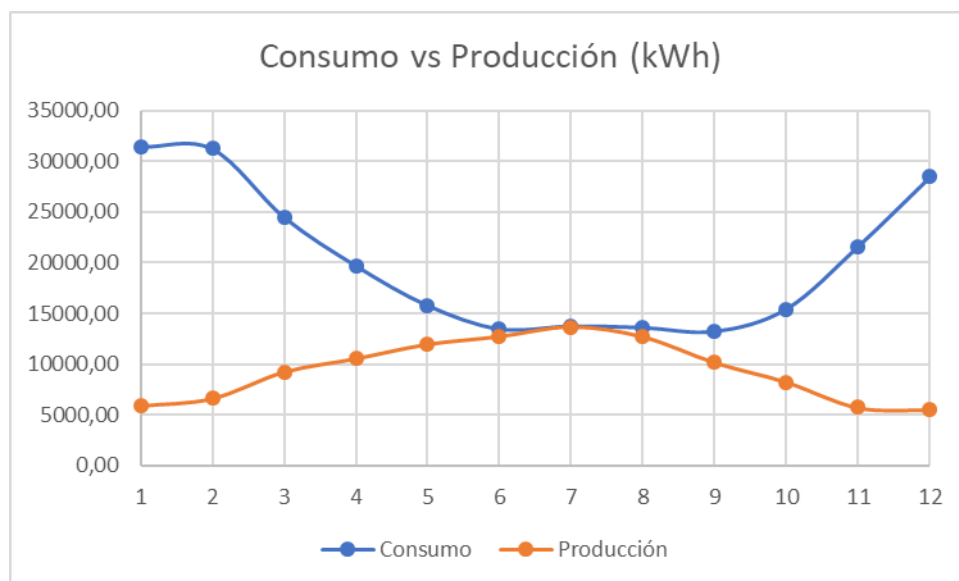


Ilustración 23. Consumo vs Producción mensual en la instalación de 60 kW. Fuente: Elaboración propia.

8.2.2.3 Inversión inicial.

Para el cálculo de la inversión inicial en el caso de instalación de autoconsumo sin excedentes de 20 kW se han tenido en cuenta los siguientes elementos:

- 144 paneles solares con un precio de 179,08 € por panel. El coste total de los paneles será de 25.787,52€.
- 6 inversores con un precio de 2.486,45 € por inversor. El coste total de los inversores será de 14.918,7 €.
- Un coste total de instalación de los equipos de 24.000 €.
- Se ha tenido en cuenta el valor del IVA de un 21% respecto del coste total.

El coste total de la inversión inicial de este caso teniendo en cuenta los elementos citados anteriormente es de 127.549,05€. Se puede ver en la inversión inicial correspondiente a cada vecino.

Vivienda	Inversión inicial (€)
1	4.278,09
2	5.180,51
3	2.622,94
4	3.459,47
5	9.695,81
6	2.262,92
7	8.942,55
8	8.719,58

9	3.779,44
10	4.519,51
11	8.357,98
12	8.858,45
13	3.923,87
14	5.126,22
15	9.282,02
16	6.244,77
17	4.547,97
18	10.990,41
19	9.455,44
20	5.003,93
21	2.297,18

Tabla 20. Inversión inicial por vivienda para la instalación de 60 kW. Fuente: Elaboración propia.

8.2.2.4 Cálculo de costes y del ahorro anual.

En la Tabla 21 se muestran los costes del consumo de energía eléctrica de la red en la instalación sin excedentes de 60 kW. Al tener una mayor potencia instalada, se cubre mayor parte de la demanda con la energía generada que en el caso anterior, por ello los costes en este caso son inferiores, teniendo un mayor ahorro económico anual por vivienda.

	Coste de la demanda (€)	Coste del consumo de la red (€)	Ahorro (€)
Casa 1	1.075,37	692,38	382,99
Casa 2	1.302,21	830,50	471,71
Casa 3	659,32	419,09	240,23
Casa 4	869,60	579,57	290,03
Casa 5	2.437,21	1.626,36	810,85
Casa 6	568,82	359,32	209,50
Casa 7	2.247,86	1514,38	733,48
Casa 8	2.191,82	1.517,24	674,58
Casa 9	950,03	623,93	326,09
Casa 10	1.136,06	738,68	397,37
Casa 11	2.100,92	1401,78	699,14
Casa 12	2226,72	1.558,64	668,08
Casa 13	986,33	602,31	384,02
Casa 14	1.288,56	836,90	451,67
Casa 15	2.333,19	1.632,68	700,52
Casa 16	1.569,73	1.095,33	474,40
Casa 17	1.143,21	723,04	420,17
Casa 18	2.762,63	1.892,41	870,22
Casa 19	2.376,79	1.591,26	785,53
Casa 20	1.257,82	781,87	475,96

Casa 21	577,44	366,59	210,84
----------------	---------------	---------------	---------------

Tabla 21. Coste y ahorro anual por vivienda en instalación de 60 kW. Fuente: Elaboración propia.

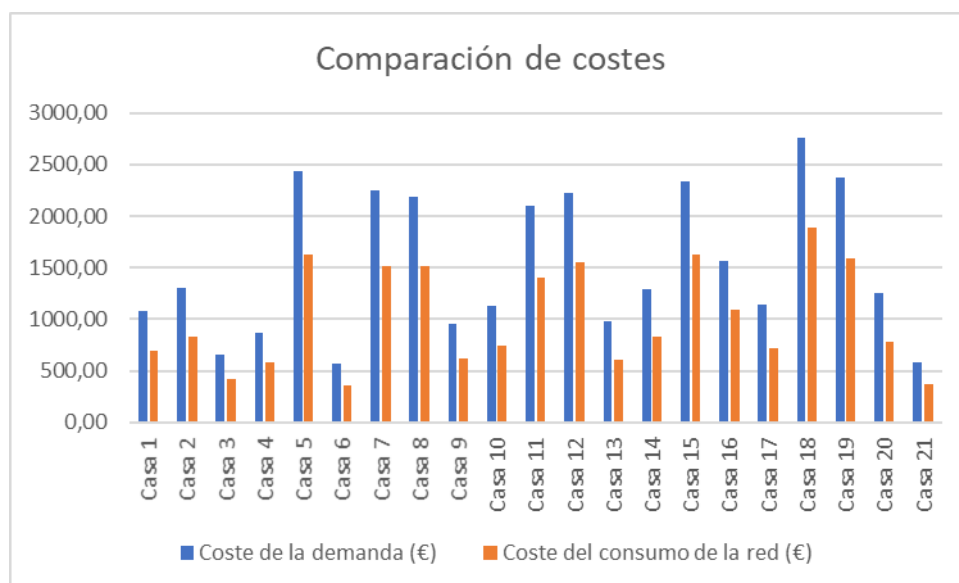


Ilustración 25. Comparación de costes anuales por vivienda para la instalación de 60 kW. Fuente: Elaboración propia

8.2.3 Instalación de potencia nominal de 105 kW.

En este caso, el diseño de la instalación será igual que en el caso 1. La diferencia respecto de la instalación de autoconsumo con excedentes es que no se obtendrá beneficio económico derivado de la venta de excedentes. La comparación de los costes de la demanda de energía eléctrica de la red con instalación fotovoltaica frente a los costes sin instalación fotovoltaica puede observarse en la Ilustración 22. En este caso el ahorro económico producido es únicamente el derivado del menor consumo de la red respecto del escenario sin instalación solar fotovoltaica. En la Tabla 22 se puede comprobar el ahorro anual por vivienda, que es menor al producido en el caso 1, ya que no podemos vender los excedentes energéticos.

	Coste de la demanda (€)	Coste del consumo de la red (€)	Ahorro (€)
Casa 1	1075,37	593,10	482,27
Casa 2	1302,21	716,44	585,77
Casa 3	659,32	364,36	294,96
Casa 4	869,60	496,59	373,00
Casa 5	2437,21	1399,91	1037,29
Casa 6	568,82	311,49	257,33
Casa 7	2247,86	1296,98	950,88
Casa 8	2191,82	1288,24	903,57
Casa 9	950,03	535,85	414,17
Casa 10	1136,06	631,51	504,54

Casa 11	2100,92	1185,38	915,54
Casa 12	2226,72	1340,37	886,35
Casa 13	986,33	531,53	454,80
Casa 14	1288,56	714,74	573,82
Casa 15	2333,19	1386,67	946,52
Casa 16	1569,73	943,12	626,61
Casa 17	1143,21	625,04	518,17
Casa 18	2762,63	1598,36	1164,27
Casa 19	2376,79	1343,64	1033,14
Casa 20	1257,82	677,16	580,66
Casa 21	577,44	316,62	260,82

Tabla 22. Coste y ahorro anual por vivienda en instalación de 105 kW. Fuente: Elaboración propia.

8.2.4 Cálculo de la rentabilidad económica. Comparación de resultados.

Para poder comparar que instalación es más económicamente rentable entre las diferentes instalaciones planteadas se ha calculado el VAN y el TIR para cada una. Los valores obtenidos se muestran en la Tabla 23 y en la Tabla 24.

	VAN 20kW (€)	VAN 60 kW (€)	VAN 105 kW (€)
Casa 1	2.044,86	2.328,28	3.549,92
Casa 2	4.753,57	6.612,17	8.869,46
Casa 3	2.412,11	3.382,77	4.450,23
Casa 4	2.996,32	3.791,32	5.468,74
Casa 5	7.710,31	1.0575,40	15.124,17
Casa 6	2.031,55	2.974,58	3.910,68
Casa 7	7.362,23	9.394,53	12.852,58
Casa 8	6.723,10	8.144,82	12.869,35
Casa 9	3.311,82	4.372,91	6.141,29
Casa 10	3.437,52	5.414,84	7.575,48
Casa 11	6.209,85	9.120,55	13.571,56
Casa 12	6.144,52	7.843,55	12.284,02
Casa 13	3.075,95	5.676,55	6.996,06
Casa 14	3.937,86	6.165,42	8.631,28
Casa 15	6.594,41	8.230,89	13.316,10
Casa 16	4.491,37	5.615,15	8.704,00
Casa 17	4.132,33	5.956,36	7.884,42
Casa 18	7.809,92	10.764,97	16.855,31
Casa 19	7.090,44	10.182,74	15.288,37
Casa 20	3.846,43	6.894,97	8.938,55
Casa 21	1.789,07	2.973,83	3.959,65

Tabla 23. Comparación del VAN en las instalaciones de autoconsumo sin excedentes. Fuente: Elaboración propia.

	TIR 20kW	TIR 60 kW	TIR 105 kW
Casa 1	18%	7%	9%
Casa 2	20%	8%	9%
Casa 3	20%	8%	9%
Casa 4	19%	7%	8%
Casa 5	19%	7%	8%
Casa 6	20%	8%	9%
Casa 7	18%	7%	8%
Casa 8	17%	6%	8%
Casa 9	19%	7%	9%
Casa 10	17%	7%	9%
Casa 11	17%	7%	9%
Casa 12	16%	6%	8%
Casa 13	18%	9%	9%
Casa 14	17%	7%	9%
Casa 15	16%	6%	8%
Casa 16	16%	6%	8%
Casa 17	20%	8%	9%
Casa 18	16%	6%	8%
Casa 19	17%	7%	9%
Casa 20	17%	8%	9%
Casa 21	18%	8%	9%

Tabla 24. Comparación del TIR en las instalaciones de autoconsumo sin excedentes. Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en la Ilustración 26, se obtiene una mayor rentabilidad económica con la instalación de potencia nominal de 105 kW basándonos en el criterio del VAN. Con esta potencia instalada, conseguimos un mayor ahorro económico, ya que se consigue satisfacer una mayor parte de la demanda con la energía solar. A pesar de suponer una mayor inversión inicial derivada de la instalación de un mayor número de módulos fotovoltaicos e inversores, se puede comprobar que resulta rentable gracias a la mayor aportación de energía solar, en comparación con las instalaciones de menor potencia.

Según el criterio del TIR la instalación mas rentable sería la de 20 kW, pero con esta instalación obtenemos un menor valor del VAN en comparación con la instalación de 105 kW. En este caso la elección de realizar un proyecto u otro deberán tomarla los inversores.

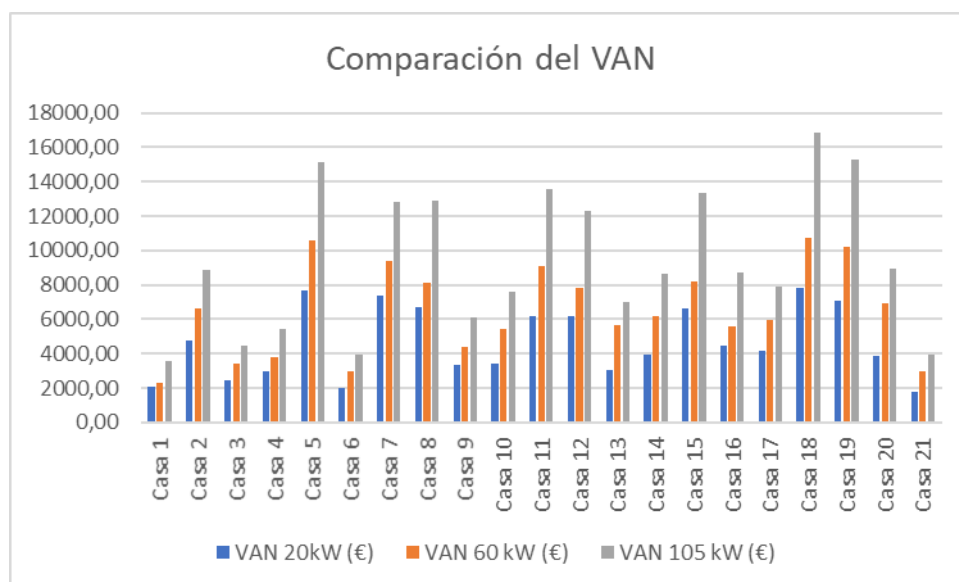


Ilustración 26. Comparación del VAN para las instalaciones sin excedentes. Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 25 se muestra el cuantos años se amortizaría la instalación de 105 kW, siendo esta la que mayor ahorro económico produce de entre las instalaciones estudiadas. La inversión inicial se amortizaría entre 10 y 11 años para todos los vecinos.

Vivienda	Inversión inicial	Ahorro anual	Amortización
1	4.768,91	482,27	9,89
2	5.774,87	585,77	9,86
3	2.923,86	294,96	9,91
4	3.856,37	373,00	10,34
5	10.808,19	1.037,29	10,42
6	2.522,54	257,33	9,80
7	9.968,52	950,88	10,48
8	9.719,97	903,57	10,76
9	4.213,04	414,17	10,17
10	5.038,02	504,54	9,99
11	9.316,88	915,54	10,18
12	9.874,77	886,35	11,14
13	4.374,04	454,80	9,62
14	5.714,34	573,82	9,96
15	10.346,93	946,52	10,93
16	6.961,22	626,61	11,11
17	5.069,75	518,17	9,78
18	12.251,32	1.164,27	10,52

19	10.540,25	1.033,14	10,20
20	5.578,02	580,66	9,61
21	2.560,73	260,82	9,82

Tabla 25. Amortización de la inversión inicial para la instalación de 105kW. Fuente: Elaboración propia.

9 CONCLUSIONES Y LÍNEAS DE TRABAJO FUTURAS:

Una vez analizados las diferentes modalidades de consumo, se llega a la conclusión, de que la instalación de una instalación solar fotovoltaica ya sea del tipo sin excedentes, o con excedentes no acogida a compensación, resultan ser económicamente rentables. En la Ilustración 27 se pueden comparar los valores del VAN obtenidos para cada vivienda para cada caso de estudio.

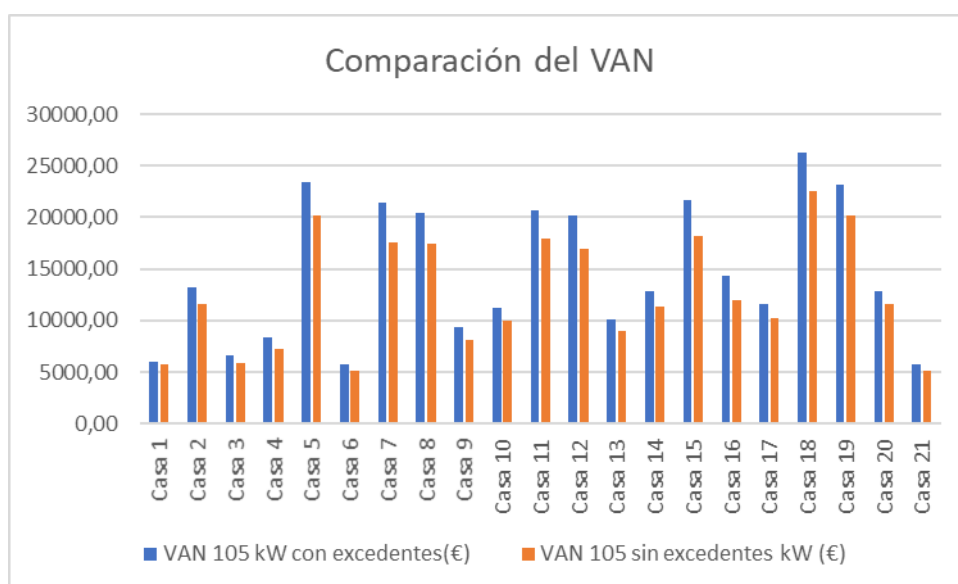


Ilustración 27. Comparación del VAN entre casos. Fuente: Elaboración propia.

Se puede comprobar que, para cada uno de los casos de estudio, se obtienen unos valores del VAN positivos, debidos al ahorro anual producido en cada uno de los casos. El cálculo del VAN permite la comparativa entre proyectos para saber qué escenario nos produciría mayores ingresos, o en este caso un mayor ahorro económico.

Como se ha podido observar anteriormente, en el caso de instalación de autoconsumo sin excedentes, cualquiera de las instalaciones de potencia nominales estudiadas, resultarían económicamente rentables en comparación con el escenario sin instalación fotovoltaica, siendo de entre esas opciones estudiadas la más rentable según el criterio del VAN la instalación de 105 kW de potencia nominal.

La instalación de 105 kW de potencia nominal sin excedentes resulta más rentable que el escenario sin instalación fotovoltaica, ya que como se ha comprobado anteriormente, se

produce un ahorro en la factura eléctrica debido al menos consumo de energía eléctrica de la red pública. Con esta modalidad de autoconsumo se podría amortizar la inversión inicial en 6 años gracias al ahorro económico que conlleva este tipo de instalación.

Comparando entre la instalación sin excedentes y con excedentes, resultaría más interesante la instalación de autoconsumo con excedentes, ya que como se puede comprobar, se obtiene una mayor rentabilidad económica debido al ahorro de consumo energético y debido a los ingresos económicos que nos proporciona la venta de excedentes. Siendo mayor el ahorro económico, y la misma inversión inicial para los dos casos, lo idóneo sería optar por la instalación de autoconsumo con excedentes no acogida a compensación.

En cuanto a líneas futuras de trabajo, resultaría interesante estudiar la influencia de las diferentes tarifas eléctricas en el coste de la energía eléctrica, pudiendo obtener aun un mayor ahorro económico.

Otro de los aspectos que resultaría interesante estudiar sería la aplicación de unos coeficientes de reparto de energía para cada hora variables, ya que esta medida ha sido aprobada este mismo año. De esta forma se podría optimizar la asignación de energía entre los usuarios.

10 BIBLIOGRAFÍA

- [1]. "La importancia de las energías renovables", <https://www.acciona.com/es/energias-renovables/>. [Consultado: 07- May- 2021].
- [2]. "Energías renovables | Idae", *Idae.es*. [Online]. Available: <https://www.idae.es/tecnologias/energias-renovables>. [Accessed: 07- May- 2021].
- [3]. "Energía solar: todo lo que tienes que saber", *factorenergia*. [Online]. Available: <https://www.factorenergia.com/es/blog/autoconsumo/energia-solar/>. [Accessed: 07- May- 2021].
- [4]. "3 Tipos de Energía Solar y sus Ejemplos | Svea Solar", Haz el Cambio a la Energía Verde | Svea Solar - Instaladores de Placas Solares. [Online]. Available: <https://sveasolar.com/es/blog/tipos-de-energia-solar/>. [Accessed: 07- May- 2021].
- [5]. "Energía eólica. Qué es, cómo funciona, ventajas y desventajas", *factorenergia*. [Online]. Available: <https://www.factorenergia.com/es/blog/eficiencia-energetica/energia-eolica/>. [Accessed: 07- May- 2021].
- [6]. "La energía hidráulica", *factorenergia*. [Online]. Available: <https://www.factorenergia.com/es/blog/eficiencia-energetica/energia-renovable-hidraulica/>. [Accessed: 07- May- 2021].
- [7]. F. Jarabo Friedrich, *El libro de las energias renovables*. Madrid: S.A.P.T, 1991.
- [8]. "Energías renovables: características, tipos y nuevos retos", *factorenergia*. [Online]. Available: <https://www.factorenergia.com/es/blog/noticias/energias-renovables-caracteristicas-tipos-nuevos-retos/>. [Accessed: 07- May- 2021].
- [9]. "Energías alternativas: biomasa y biogás", *factorenergia*. [Online]. Available: <https://www.factorenergia.com/es/blog/eficiencia-energetica/energias-alternativas-biomasa-biogas/>. [Accessed: 07- May- 2021].
- [10]. "Tipos de instalaciones solares fotovoltaicas", *Endef*. [Online]. Available: <https://endef.com/tipos-de-instalaciones-solares-fotovoltaicas-como-encontrar-la-ideal-para-mi/>. [Accessed: 09- May- 2021].
- [11]. "Autoconsumo compartido en España 2021", *Autosolar.es*. [Online]. Available: <https://autosolar.es/blog/autoconsumo/autoconsumo-colectivo>. [Accessed: 13- Jun- 2021].

- [12]. "Autoconsumo colectivo: ¿qué tipos existen y cuáles son los requisitos?", *tarifasgasluz.com*. [Online]. Available: <https://tarifasgasluz.com/autoconsumo/instalacion/colectivo>. [Accessed: 13- Jun- 2021].
- [13]. S. Garrido, *Energiza.org*. [Online]. Available: https://www.energiza.org/index.php?option=com_k2&view=item&id=1164:estructuras-m%C3%B3viles-y-fijas-en-paneles-fotovoltaicos. [Accessed: 10- May- 2021].
- [14]. "Soportes para placas solares, todo lo que necesitas saber - Grupo Sinelec", *Grupo Sinelec*. [Online]. Available: <https://gruposinelec.com/soportes-para-placas-solares-todo-lo-que-necesitas-saber/>. [Accessed: 10- May- 2021].
- [15]. T. Díaz Corcobado, G. Carmona Rubio and V. Benlloch Ramos, *Instalaciones solares fotovoltaicas*. Aravaca (Madrid): McGraw-Hill/Interamericana de España, 2018.
- [16]. "¿Cuáles son los tipos de paneles fotovoltaicos?", *Solar-energia.net*. [Online]. Available: <https://solar-energia.net/energia-solar-fotovoltaica/elementos/panel-fotovoltaico/tipos-de-paneles-fotovoltaicos>. [Accessed: 12- May- 2021].
- [17]. J. Aranda Usón and A. Ortego Bielsa, *Integración de energías renovables en edificios*. Zaragoza: Prensas Universitarias de Zaragoza, 2011.
- [18]. C. Orbegozo and R. Arivilca, *Energía Solar Fotovoltaica*. 2010.
- [19]. I. solares, "Inversores solares para instalaciones fotovoltaicas", *Monsolar.com*. [Online]. Available: <https://www.monsolar.com/fotovoltaica-aislada/inversores.html>. [Accessed: 10- May- 2021].
- [20]. "Elementos de proteccion de la instalacion fotovoltaica: Energía Solar Fotovoltaica." [Online]. Available: <http://energiasolarfotovoltaica.blogspot.com/2006/02/elementos-de-proteccion-de-la.html>. [Accessed: 20-Nov-2019].
- [21]. "Diferencia entre efecto fotoelectrico y efecto fotovoltaico - HelioEsfera", *HelioEsfera*, 2021. [Online]. Available: <https://www.helioesfera.com/diferencia-entre-efecto-fotoelectrico-y-efecto-fotovoltaico/>. [Accessed: 06- May- 2021].
- [22]. "Informe Anual UNEF 2020", <https://unef.es/>.

- [23]. "2020, el año de la energía más 'verde' gracias al récord en generación eólica y solar fotovoltaica | Red Eléctrica de España", *Ree.es*, 2021. [Online]. Available: <https://www.ree.es/es/sala-de-prensa/actualidad/nota-de-prensa/2021/03/2020-energia-mas-verde-gracias-record-eolica-y-solar-fotovoltaica>. [Accessed: 19-May- 2021].
- [24]. "BOE.es - BOE-A-2000-24019 Real Decreto 1955/2000, de 1 de diciembre, por el que se regulan las actividades de transporte, distribución, comercialización, suministro y procedimientos de autorización de instalaciones de energía eléctrica.", *Boe.es*, 2021. [Online]. Available: <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2000-24019>. [Accessed: 06- May- 2021].
- [25]. "BOE.es - BOE-A-2002-18099 Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento electrotécnico para baja tensión.", *Boe.es*, 2021. [Online]. Available: https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2002-18099. [Accessed: 06- May- 2021].
- [26]. "BOE.es - BOE-A-2006-5515 Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación.", *Boe.es*, 2021. [Online]. Available: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2006-5515>. [Accessed: 06- May- 2021]
- [27]. "BOE.es - BOE-A-2008-15595 Real Decreto 1578/2008, de 26 de septiembre, de retribución de la actividad de producción de energía eléctrica mediante tecnología solar fotovoltaica para instalaciones posteriores a la fecha límite de mantenimiento de la retribución del Real Decreto 661/2007, de 25 de mayo, para dicha tecnología.", *Boe.es*, 2021. [Online]. Available: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?lang=eu&id=BOE-A-2008-15595>. [Accessed: 06- May- 2021].
- [28]. "BOE.es - BOE-A-2011-19242 Real Decreto 1699/2011, de 18 de noviembre, por el que se regula la conexión a red de instalaciones de producción de energía eléctrica de pequeña potencia.", *Boe.es*, 2021. [Online]. Available: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2011-19242>. [Accessed: 06- May- 2021]
- [29]. "BOE.es - BOE-A-2013-13645 Ley 24/2013, de 26 de diciembre, del Sector Eléctrico.", *Boe.es*, 2021. [Online]. Available: <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2013-13645#:~:text=1.,transparencia%20y%20al%20m%C3%ADnimo%20coste>. [Accessed: 06- May- 2021].
- [30]. "BOE.es - BOE-A-2014-6123 Real Decreto 413/2014, de 6 de junio, por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovables, cogeneración y residuos.", *Boe.es*, 2021. [Online]. Available: https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2014-6123. [Accessed: 06-May- 2021].

- [31]. "BOE.es - BOE-A-2015-10927 Real Decreto 900/2015, de 9 de octubre, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas de las modalidades de suministro de energía eléctrica con autoconsumo y de producción con autoconsumo.", *Boe.es*, 2021. [Online]. Available: https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2015-10927. [Accessed: 06-May- 2021].
- [32]. "BOE.es - BOE-A-2018-13593 Real Decreto-ley 15/2018, de 5 de octubre, de medidas urgentes para la transición energética y la protección de los consumidores.", *Boe.es*, 2021. [Online]. Available: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2018-13593>. [Accessed: 06-May- 2021].
- [33]. "BOE.es - BOE-A-2019-5089 Real Decreto 244/2019, de 5 de abril, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas del autoconsumo de energía eléctrica.", *Boe.es*, 2021. [Online]. Available: https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2019-5089. [Accessed: 06-May- 2021].
- [34]. "Sección HE 5, Contribución fotovoltaica mínima de energía eléctrica. Documento Básico He Ahorro de Energía. Código Técnico de Edificación."
- [35]. "Placa Solar Monocristalina 450W ATERSA GS y 144 medias células", Atersa.shop. [Online]. Available: https://atersa.shop/panel-solar-450w-a-450m-atersa-gs-m6x24/?gclid=Cj0KCQjwhr2FBhDbARIsACjwLo2mD7Y6ZsQ4_mTEDQBQZsXkqGBFIVZr8Z1qzOU6gDc2nvtj-_4m5SMaAij2EALw_wcB. [Accessed: 27-May- 2021].
- [36]. "Consulta los perfiles de consumo (TBD) | Red Eléctrica de España", Ree.es. [Online]. Available: <https://www.ree.es/es/clientes/consumidor/gestion-medidas-electricas/consulta-perfiles-de-consumo>. [Accessed: 30-May- 2021].
- [37]. "Valor actual neto (VAN)", Economipedia. [Online]. Available: <https://economipedia.com/definiciones/valor-actual-neto.html>. [Accessed: 16-Jun- 2021].
- [38]. "Tipo de interés en España | Statista", Statista, 2021. [Online]. Available: <https://es.statista.com/estadisticas/639398/tipo-de-interes-oficial-espana/>. [Accessed: 16-Jun- 2021].
- [39]. "Tasa de inflación España 2011-2021 | Statista", Statista, 2021. [Online]. Available: <https://es.statista.com/estadisticas/495620/tasa-de-inflacion-en-espana/>. [Accessed: 16-Jun- 2021].

- [40]. "Primas Riesgo Eurozona - prima de riesgo", *infobolsa*, 2021. [Online]. Available: <https://www.infobolsa.es/primas-riesgo>. [Accessed: 16- Jun- 2021].